

Lepakot vastaavat simuloituun uhkaan esittämällä antipredaatiovasteita

Miina Suutari

Maisterintutkielma

Ekologian ja evoluutiobiologian maisteriohjelma

Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta

Helsingin yliopisto

Huhtikuu 2021

Tiivistelmä

Tiedekunta: Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta

Koulutusohjelma: Ekologian ja evoluutiobiologian maisteriohjelma

Opintosuunta: Biologian opettaja

Tekijä: Miina Suutari

Työn nimi: Lepakot vastaavat simuloituun uhkaan esittämällä antipredaatiovasteita

Työn laji: Maisterintutkielma

Kuukausi ja vuosi: 04/2021

Sivumäärä: tutkielma 35 sivua, liitteet 5 sivua

Avainsanat: lepakot, Chiroptera, antipredaatiovasteet

Säilytyspaikka: Helsingin yliopiston kirjasto

Muita tietoja: ohjaajat Thomas Lilley ja Aleksi Lehikoinen Luonnontieteelliseltä keskusmuseolta

Tiivistelmä:

Vaikka lepakkoilla ei ole niihin erikoistunutta saalistajaa lauhkealla vyöhykkeellä, niitä saalistetaan. Jopa 11 % niiden vuosittaisesta kuolleisuudesta johtuu petolintujen, erityisesti pöllöjen, saalistuksesta. Lepakot ovat erityisen alttiita saalistukselle poistuessaan päiväpiiloistaan, jolloin niiden esiintyminen on hyvin ennustettavaa. Saaliiksi jääminen on kohtalokasta, joten sen välttämiseksi tarvitaan antipredaatiovasteita. Lopullinen selviytyminen riippuu kuitenkin kyvystä välttää sekä saalistusta että nälkään nääntymistä, joten näihin kahteen käytetty aika ja energia tulee optimoida.

Tutkin lepakoiden antipredaatiovasteita kahdella kokeella, joissa simuloin pedon läsnäoloa äänitteillä: 1. päiväpiilosta poistumisen yhteydessä ja 2. lepakoiden saalistaessa lehtopöllöreviireillä ja alueilla, joilla ei ole tavattu lehtopöllöjä. Äänitin lepakoiden kaikuluotausta 24 päiväpiilon luona ja 11 saalistuspaikalla 10-13 yön ajan. Hyödynsin päiväpiiloaineiston keräämisessä kansalaistiedettä. Simuloin pedon läsnäoloa kahdella äänitteellä, aikuisen lehtopöllön huhuilulla ja lehtopöllön poikasen ääntelyllä. Poikasen ääntelyä käytettiin ainoastaan päiväpiilotutkimuksessa. Käytin molemmissa kokeissa musiikkia ja äänettämiä öitä kontrollina.

Pöllön ääntely, musiikki tai lehtopöllöreviiri eivät vaikuta lepakoiden esiintymiseen niiden saalistaessa. Lepakot lähtevät kuitenkin yli 20 minuuttia myöhemmin liikkeelle päiväpiilosta, kun aikuisen lehtopöllön huhuilua soitetaan päiväpiilon edustalla. Poikasen ääntely tai musiikki eivät vaikuta lähtöaikaan. Nämä tulokset osoittavat, että lepakkoilla on antipredaatiovasteita. Ne viittaavat myös siihen, että lepakot saattavat tunnistaa korkean riskin tilanteen ja keskittää antipredaatiokäyttäytymisen sinne tai, että ne priorisoivat oman saalistusmenestyksensä pedon välttämisen edelle.

Abstract

Faculty: Faculty of Biological and Environmental Sciences

Degree programme: Master's Programme in Ecology and Evolutionary Biology

Study track: Teacher in Biology

Author: Miina Suutari

Title: Bats show antipredatory behaviour when under simulated threat

Level: Master's degree

Month and year: 04/2021

Number of pages: thesis 35, attachment 5

Keywords: bats, Chiroptera, antipredatory responses

Where deposited: University of Helsinki library

Additional information: supervised by Thomas Lilley and Aleksi Lehtikainen from Finnish Museum of Natural History

Abstract:

Even though bats have no specialized predators in the temperate zone, they are still preyed on. In fact, 11% of their annual mortality is caused by avian predators, especially owls. Bats are particularly vulnerable at emergence from their roost because this behaviour is very predictable. Because a successful predation event is mortal, it would be expected that bats need antipredatory responses to avoid it. The time and focus for these responses need to be shared with foraging in a way that maximizes survival.

I studied antipredatory responses of bats in two settings: 1. during roost emergence and 2. during foraging at tawny owl territories and at places where there have been no tawny owl sightings. I collected acoustic data from 24 roosts and 11 foraging grounds for 10-13 nights. The roost emergence data was collected with the help of citizen science. Two controlled predation threats, recorded tawny owl calls and nestling sounds, were used. Nestling sounds were only played during roost emergence. In both tests music and silence were used as controls.

Owl calls, music or tawny owl territory have no effect on bat presence when they are foraging. However, bats alter their emergence time and leave over 20 minutes later when tawny owl calls are played outside the roost. There is no difference in exit time when music or nestling sounds are played. These results show that bats have antipredatory responses. They also suggest that bats may be able to recognize high-risk situations and allocate their behaviour accordingly or that they place higher importance on foraging than avoiding predation.

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	5
1.1 Antipredaatiovasteet – saaliin vaste saalistukselle.....	5
1.2 Milloin uhkaan kannattaa reagoida – konflikti suojautumisen ja energian saannin välillä.....	6
1.3 Lepakoiden antipredaatiovasteet.....	7
1.4 Lepakot saaliina – opportunistiset pedot.....	9
1.5 Yhdyskunnasta poistuminen – välttämätön riski.....	11
1.6 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit.....	12
2. Materiaalit ja menetelmät.....	14
2.1 Aineistonkeruu.....	14
2.1.1 Laitteet.....	15
2.1.2 Käsittelyt ja äänitteet.....	16
2.2 Koeasetelmat.....	18
2.2.1 Päiväpiilotutkimus.....	19
2.2.1.1 Kansalaistiede.....	20
2.2.2 Reviiritutkimus.....	21
2.3 Analyysit.....	23
2.3.1 Äänianalyysi.....	23
2.3.2 Tilastolliset analyysit.....	24
2.3.2.1 Päiväpiiloaineisto.....	24
2.3.2.2 Reviiriaineisto.....	25
3. Tulokset.....	26
3.1 Päiväpiilotutkimuksen tulokset.....	26
3.1.1 Tilastoanalyysin tulokset.....	26
3.1.2 Havaitut lajit.....	27
3.2 Reviiritutkimuksen tulokset.....	30
3.2.1 Tilastoanalyysin tulokset.....	30
3.2.2 Havaitut lajit.....	32
4. Pohdinta.....	33
4.1 Yhteenveto tuloksista.....	33
4.2 Pohdinta.....	33
4.2.1 Konflikti pedon välttämisen ja energian saannin välillä.....	34
4.2.1.1 Predaatiouhka vaihtelee ajassa ja tilassa.....	35
5. Yhteenveto.....	36
6. Kiitokset.....	37
7. Lähteet.....	37
Liite.....	41

Lepakot vastaavat simuloituun uhkaan esittämällä antipredaatiiovasteita

1. Johdanto

Luonto ja toimivat ekosysteemit rakentuvat lajien välisten vuorovaikutusten varaan: yksikään laji ei ole olemassa tyhjiössä, vaan on suoraan tai välillisesti riippuvainen muista eliöistä. Saalistus on yksi näistä tärkeistä vuorovaikutuksista. Yksinkertaisimmillaan saalistus voidaan määrittää toisen elion hyödyntämiseksi sen ollessa vielä elossa (Begon ym. 2005). Saalistus ja saalistajat voidaan jakaa edelleen pienempiin luokkiin taksonomian perusteella, esimerkiksi lihansyöjiin ja kasvinsyöjiin, tai funktionaalisiin luokkiin saalistuksen tyyppin mukaan, laiduntajiin, parasiitteihin, parasitoideihin ja todellisiin petoihin (true predators), jotka tappavat saaliinsa lähes välittömästi. Toisaalta saalistajat voidaan jakaa eri trofiatasoille pienpetoihin ja huippupetoihin, jotka voivat saalistaa myös muita saalistajia. Yksi laji voi siis toimia kahdessa roolissa, sekä saaliina että saalistajana. Esimerkiksi lepakot (Chiroptera, Vespertilionidae) ovat hyönteissyöjinä saalistajia mutta ne voivat myös joutua myös muiden lajien saaliiksi.

Saalistuksella voi olla huomattavan suuri merkitys saaliseläimelle, sekä populaatio- että yksilötasolla. Se on ravinnon riittävyyden lisäksi merkittävin tekijä sopivan habitaatin valinnassa ja siitä aiheutuva kuolleisuus voi olla hyvinkin suurta (Creel ym. 2005, Lind & Cresswell 2005). Esimerkiksi monilla populaatioilla ensimmäisen elinvuoden aikaisesta kuolleisuudesta valtaosa saattaa johtua saalistuksesta. Jo pelkkä petojen ja saalistuksen uhan olemassaolo vaikuttaa eläimiin, niiden päätöksiin ja käyttäytymiseen (Cresswell 2008, Laundré ym. 2010). Petojen vaikutus näkyy saaliseläinten ruokailussa ja lisääntymisessä ja vaikuttaa ympäristötekijöiden lisäksi aktiivisuuden aloittamiseen ja tasoon. Saalistus asettaakin tärkeän valintapaineen eläinten käyttäytymiselle ja ulkomuodolle (Lind & Cresswell 2005). Saalistus voi olla hyvin tehokasta: onnistunut hyökkäys on saaliille kohtalokas, joten selviytyäkseen se tarvitsee joko sisäisen tai opitun tavan pedon välttämiseksi (Hendrie ym. 1998). Saaliseläin voikin vaikuttaa omaan selviytymiseensä ja vähentää kiinnijäämisen todennäköisyyttä eri tavoin.

1.1 Antipredaatiiovasteet – saaliin vaste saalistukselle

Mikä tahansa eläimen käyttäytymismalli tai ulkoinen piirre, joka edistää saalistajan välttämistä tai mahdollistaa pakenemisen hyökkäyksen sattuessa, kasvattaa saaliin selviytymisen todennäköisyyttä sekä mahdollisuuksia lisääntyä ja tuottaa jälkeläisiä seuraavaan sukupolveen (Lind & Cresswell 2005). Nämä

saalistuksen välttämiseen tarkoitetut piirteet ja tavat, antipredaativasteet, voidaan jakaa karkeasti kahteen tyyppiin: 1. hyökkäyksen todennäköisyyttä vähentävään käyttäytymiseen ja ominaisuuksiin ja 2. hyökkäyksestä selviytymistä parantavaan käyttäytymiseen ja ominaisuuksiin (Lind & Cresswell 2005). Luonnossa tavattavat antipredaativasteet ovat yhdistelmä monia eri käyttäytymismalleja, joita voidaan muokata tilanteen mukaan (Lind & Cresswell 2005). Selviytymistä parantavat rakenteelliset ominaisuudet, esimerkiksi piikit tai kovista suomuista muodostuva haarniska, voivat yhdistyä eri käyttäytymismalleihin, kuten piiloutumiseen, pakenemiseen, suojautumiseen ja ääntelyyn (Klump & Shalter 1983, Kindermann ym. 2009).

Saalistajien tunnistaminen on ensiarvoisen tärkeää saaliseläinten selviytymiselle. Tehokas pedon välttäminen alkaa nimenomaan sen tehokkaasta tunnistamisesta. Monien saaliseläinten on todettu reagoivan erilaisiin pedoista aiheutuviin ärsykkeisiin. Saaliista ja saalistajasta riippuen nämä ärsykkeet voivat olla visuaalisia näköhavaintoja, auditiivisia kuulohavaintoja tai kemosensorisia hajuja (Baxter ym. 2006, Driessens & Siemers 2010). Erilaiset ärsykkeet ja niihin reagoivat aistit antavat hieman erilaista tietoa saalistajasta ja sen liikkeistä. Hajuasti ja kemosensoriset ärsykkeet antavat tietoa pedon nykyisestä tai aiemmasta oleskelusta tilassa, kun taas näkö ja kuulo paikallistavat pedon paremmin nykyhetkessä (Driessens & Siemers 2010). Hajuärsykkeet, kuten pedon virtsasta löytyvät kemikaalit, herättävät saaliseläimissä pelkoa ja saavat ne muuttamaan käyttäytymistään (Driessens & Siemers 2010). Kemosensorisiin ärsykkeisiin reagoimisen on todettu olevan ainakin osittain sisäsyntyistä, sillä myös laboratoriossa kasvatetut hiiret ja rotat reagoivat niihin, vaikka eivät ole koskaan kohdanneet petoa (Kindermann ym. 2009). Antipredaativasteet voivat kuitenkin olla myös opittuja. Petolintujen, esimerkiksi pöllöjen, ääntely herättää jyrksijöissä antipredaatioreaktion – ne hakeutuvat suojaan tai kyyristyvät liikkumattomaksi paikoilleen (Hendrie ym. 1998). Tämä koskee kuitenkin vain luonnosta pyydystettyjä eläimiä: laboratoriossa kasvatetut jyrksijät eivät reagoi pöllön huutoihin, ennen kuin yhdistävät ne pelkoa aiheuttavaan ärsykeeseen kuten sähköiskuun (Kindermann ym. 2009). Sama pelkoärsyke saa eläimen reagoimaan ja esittämään antipredaativasteita sekä todelliseen uhkaan, pöllön huhiluun, että vaarattomaan ääneen, mustarastaan lauluun. Voidaankin todeta, että ääniin reagoiminen ja niihin yhdistyvät antipredaativasteet ovat ainakin jyrksijöillä mahdollisesti opittuja tai niillä on vähintään valmius oppimiseen.

1.2 Milloin uhkaan kannattaa reagoida – konflikti suojautumisen ja energian saannin välillä

Eläin, joka keskittää kaiken energiansa pedon välttämiseen ei tule syödyksi, mutta se kuolee nälkään eikä voi lisääntyä. Antipredaatiokäyttäytyminen, kuten piiloutuminen tai liikkumisen välttäminen, vähentää

kuolleisuutta, mutta vaikuttaa negatiivisesti saaliin omaan ravinnonhankintaan. Tästä seuraa konflikti petojen välttämisen ja oman energian saannin välillä (Lima 1998, Brown ym. 1999, Duvergé ym. 2000). Monet käyttäytymismallit, jotka mahdollistavat maksimaalisen ruokailun, lisääntymisen tai aktiivisuuden, johtavatkin kohonneeseen saalistusriskiin (Lima & Bednekoff 1999). Eläinten täytyy uhasta riippumatta saada tietty energian tarve täytettyä tietyssä ajassa, muuten vaarana on joko oma tai jälkeläisten nääntyminen (Lima & Bednekoff 1999). Ongelmaksi muodostuukin ajan jakaminen energian hankinnan ja antipredaatiokäyttäytymisen välillä, sillä lopullinen selviytyminen riippuu kyvystä välttää sekä saalistusta että nälkään kuolemista.

Riski tulla syödyksi riippuu monista eri tekijöistä, jotka voivat olla abioottisia, kuten valon määrä, tai bioottisia, kuten tieto pedosta. Itse saalistusriskiin vaikuttavat hyökkäysten frekvenssi sekä todennäköisyys hyökkäyksen onnistumisesta (Lind & Cresswell 2005), joista molemmat voivat osaltaan madaltaa tai kasvattaa uhkaa. Luonnossa saalistuksen uhka on harvoin vakio: saalistusriski vaihtelee ajassa ja tilassa ja tämä vaihtelu vaikuttaa antipredaatiiovasteisiin (Lima & Bednekoff 1999, Laundré ym. 2010). Koska eläinten kokeman uhan taso vaihtelee, niin pedon välttämiseen käytetty aika ja energia kannattaa sopeuttaa tilanteeseen. Kaikkein selkein antipredaatiokäyttäytyminen tulisi esittää tilanteissa, joissa riski on korkea, hetkellinen ja epäsäännöllinen (Lima & Bednekoff 1999). Tällaisissa tilanteissa eläin voi lopettaa kaiken muun toiminnan ja keskittyä pedon välttämiseen ja suojautumiseen. Toisaalta ympäristö vaikuttaa petojen tehokkuuteen; saalistuksen onnistumisprosentti voi olla huomattavasti korkeampi esimerkiksi avoimessa maastossa kuin tiheässä metsässä. Koska eläimillä on jokseenkin tarkka käsitys siitä, ovatko ne korkean vai matala riskin tilanteissa, niiden kokema pelko saalistuksesta voi vaihdella ajassa ja tilassa ja heijastua käyttäytymiseen, vaikka peto ei olisikaan todellisuudessa läsnä (Laundré ym. 2010). Mahdollisimman energiatehokkaita antipredaatiiovasteita varten eläinten tulisi punnitsemaan petojen välttämisestä aiheutuvien hyötyjen ja haittojen suhde.

1.3 Lepakoiden antipredaatiiovasteet

Lepakot ovat yöeläimiä, joten niiden aktiivisuus rajoittuu tiettyyn aikaan päivästä. Tämä tarkoittaa erittelyä aktiviteetteihin, joita tarvitaan selviytymiseen ja lisääntymiseen ja niiden tasapainottelua antipredaatiokäyttäytymisen kanssa (Thomas & Jacobs 2013). Vaikka lepakot ovat maailman toiseksi lajirikkain nisäkäsryhmä, niiden roolia muiden eläinten saaliina ja vasteita saalistukselle on tutkittu varsin vähän. Jo ekologiensa puolesta lepakoiden kannattaa kuitenkin välttää saalistusta kaikin mahdollisin keinoin. Suurimmalla osalla lajeista naaraat synnyttävät yhden poikasen vuodessa, ja vaikka saalistusta ei otettaisi lukuun, poikasista vain noin 50 % selviää ensimmäisestä talvestaan. Saalistuksella voi siis olla suuri

merkitys hitaasti lisääntyvän populaation elinikäiseen lisääntymismenestykseen. Joitakin lepakoiden käyttäytymismalleja on pidetty antipredaatiovasteina, vaikka asiasta ei olekaan täyttä yksimielisyyttä. Näihin vasteisiin kuuluvat muun muassa yöaktiivisuus, eläminen yhdyskunnassa ja yhdyskunnasta poistuminen ryhmässä (Fenton & Fleming 1976, Petrzelková & Zúkal 2001, Baxter ym. 2006).

Vaikka lepakkoita tavataan maailmanlaajuisesti eri ympäristöissä ja habitaateissa, lähes kaikki ovat yöaktiivisia. Lepakkoita, jotka ovat säännöllisesti aktiivisia päivisin, on tavattu lähinnä saarilla, joilla ei historiallisesti ole esiintynyt päiväpetolintuja (Russo ym. 2011). Yöaktiivisuuden onkin arveltu johtuvan tarkan näkökyvyn avulla saalistavien petolintujen asettamasta saalistuspaineesta (Jones & Rydell 1994, Duvergé ym. 2000, Russo ym. 2007). Valon määrän on todettu olevan yhteydessä lepakoihin kohdistuvaan saalistukseen ja päivänvalossa riski joutua saaliiksi on moninkertainen yöhön nähden (Mikula ym. 2015). Lepakot voivat suosia pimeyttä jopa siinä määrin, että jotkin lajit välttävät kirkasta kuutamoa (Saldaña-Vázquez & Munguía-Rosas 2013, Thomas & Jacobs 2013). Lintuihin verrattuna lepakot saattavat olla alttiimpia saalistukselle päiväsaikaan, koska ne luottavat saalistaessaan ja suunnistaessaan näön sijasta pitkälti kaikuluotaukseen. Näköön verrattuna kaikuluotaus on kuitenkin lyhyen matkan aisti, sillä ilma rajoittaa äänen kulkemista (Jones & Rydell 1994, Duvergé ym. 2000). Tarkka kaikuluotaus ilmassa vaatii jokseenkin hidasta ja tarkkaa lentoa sekä pientä kokoa (Duvergé ym. 2000): suhteellinen hitaus voi tehdä niistä petolinnuille helppoja saaliita. Toisaalta lepakot voivat kaikuluotauksen sijasta käyttää pedon havaitsemiseen näköä tai kuuloa. Lepakoiden ei ole havaittu reagoivan petojen hajuun (Driessens & Siemers 2010), mutta ne reagoivat ääniin, esimerkiksi muiden lepakoiden hätäkutsuihin. Hätätilanteessa, kuten jouduttuaan hyökkäyksen kohteeksi, lepakot ääntelevät kuuluvasti matalalla taajuudella, jonka esimerkiksi ihminen voi kuulla (Fenton ym. 1994, Russ ym. 2004). Hätäkutsut voivat varoittaa muita saalistajasta, pyrkiä pelästyttämään pedon pois tai kutsua paikalle apua. Hätäkutsuja soitettaessa lepakot reagoivat välittömästi myös muiden lajien huutoihin, mikä voi olla edullista, sillä usein monet lajit jakavat saman ruokailupaikan ja niitä uhkaavat samat pedot (Russ ym. 2004).

Lepakoiden ensisijainen vaste saalistukseen on kuitenkin todennäköisesti pedon välttäminen. Lepakot viettävät päivänsä yhdyskunnissa, jossa ne ovat hyvässä suojassa pedoilta. Yleensä piilopaikat ovat joko hyvin ahtaita tai korkealla maanpinnan yläpuolella, ja kulkuaukko päiväpiiloon on niin pieni, että lepakot ovat päivisin saavuttamattomissa suurelle osalle saalistajista. Yhdyskunnan suuri koko luo myös turvaa, sillä suuressa joukossa yksilön todennäköisyys tulla syödyksi pienenee (Hamilton 1971, Fenton ym. 1994). Toisaalta pedot, esimerkiksi pöllöt, voivat toisinaan suosia samoja pesäpaikkoja, jolloin lepakot saattavat hylätä oman pesänsä (Roulin & Christe 2013). Koska lepakot ovat päivisin hyvin suojautuneita, suurin saalistuspaine vallitsee öisin lepakoiden poistuessa yhdyskunnasta ja saalistaessa. Saalistaessaan lepakot pyrkivät välttämään avoimia paikkoja, ja lentämään esimerkiksi lähellä puita tai metsän reunaa, missä petojen on vaikeampi saada ne kiinni.

Lepakoilla on valmiudet vastata uhkaan nopeasti sekä lennossa että pesästä poistuttaessa. Lennon aikana tapahtuvan hyökkäyksen sattuessa lepakot laskevat äkillisesti lentokorkeuttaan pedon välttämiseksi, ennen kuin jatkavat suoraan eteenpäin (Fenton ym. 1994). Mikäli lepakot joutuvat hyökkäyksen kohteeksi yhdyskunnasta poistumisen aikana ne voivat keskeyttää poistumisen, lähteä myöhemmin liikkeelle, vaihtaa poistumisaukkoa tai pyrkiä lähtemään tiiviimmässä ryhmässä (Fenton ym. 1994). Äärimmäisessä tapauksessa lepakot voivat hylätä pesäpaikan tai siirtää poistumistaan myöhäisemmäksi useampana peräkkäisenä iltana.

1.4 Lepakot saaliina – opportunistiset pedot

Lepakoilla on tiedettävästi vain yksi niihin erikoistunut peto, tropiikissa elävä lepakkohaukka (*Macheiramphus alcinus*). Lauhkealla vyöhykkeellä ei ole vastaavaa petoa, mutta monien eri eläinten, matelijoista nisäkkäisiin ja lintuihin, tiedetään saalistavan lepakkoita tilaisuuden tullen (Thomas & Jacobs 2013). Siinä missä lentokyvyttömien eläinten mahdollisuus lepakoiden saalistamiseen on hyvin rajoittunut, lintuja tämä este ei koske. Petolinnut, kuten pöllöt ja haukat, ovatkin merkittäviä lepakoiden saalistajia niin lauhkeilla vyöhykkeillä kuin tropiikissa, ja niillä on suuri vaikutus lepakoiden kuolleisuuteen (Speakman 1991, Fenton ym. 1994). Speakman (1991) arvioi, että Brittein saarilla 11 % lepakoiden vuosittaisesta kuolleisuudesta johtuu petolintujen, erityisesti pöllöjen, saalistuksesta. Petolinnut ovat taitavia lentäjiä ja opportunistisia saalistajia, ja etenkin territoriaaliset lajit tuntevat oman reviirinsä hyvin, mikä tekee niistä tehokkaita petoja (Fenton ym. 1994). Fenton ym. tarkkailivat Etelä-Afrikassa lepakkoita pyydystäviä petolintuja, jotka onnistuivat 51 % hyökkäyksistä (n=59). Siinä missä päiväpetolintujen lepakkoita koskeva toiminta on rajoittunut hämärän aikaan, pöllöt ovat monien ekosysteemien huippupetoja, jotka ovat aktiivisia samaan aikaan lepakoiden kanssa. On arvioitu, että lepakot muodostavat alueen mukaan noin 0,05-2 % pöllöjen ruokavaliosta (Speakman 1991, Lesiński ym. 2009, Rosina & Shokhrin 2011).

Lepakoiden luita on löydetty ainakin lehtopöllön (*Strix aluco*) (Lesiński ym. 2009, Lesiński ym. 2012), tornipöllön (*Tyto alba*) (Vargas ym. 2002, Roulin & Christe 2013), huuhkajan (*Bubo bubo*) ja sarvipöllön (*Asio otus*) sekä vähäisemmässä määrin esimerkiksi viirupöllön (*Strix uralensis*) ja suopöllön (*Asio flammeus*) (Rosina & Shokhrin 2011) oksennuspalloista. Yhteistä kaikille lepakkoita pyydystävälle lajeille on, että ne ovat generalisteja, jotka saalistavat monenlaisia eläimiä. Vaikka lepakot eivät ole näiden lajien pääasiallinen ravinnonlähde, jotkin niistä pyydystävät lepakkoita suuremmalla todennäköisyydellä ja yksilöt voivat erikoistua lepakoiden pyydystämiseen (Petrzelková & Zúkal 2001, Vargas ym. 2002, Lesiński ym. 2009(2), Roulin & Christe 2013). Pöllöt ja lepakot jakavat myös osittain samoja elinympäristöjä, mikä voi lisätä lepakoihin kohdistuvaa saalistusta. Esimerkiksi lehtopöllöt pesivät toisinaan myös vanhoissa rakennuksissa

tai ullakoilla, joita lepakotkin suosivat. Lepakot voivat muodostaa merkittävän osan opportunistisen yksilön ravinnosta (Vargas ym. 2002, Lesiński ym. 2009(2)).

Lepakoiden osuudessa pöllöjen ruokavaliossa voidaan havaita alueellista vaihtelua, joka on usein selitettävissä saalistajan opportunismin kautta: lepakoita saalistetaan eniten siellä, missä niitä on runsaasti ja missä ne ovat helppoja pyydystää. Pöllöt eivät keskity tiettyyn lajiin, vaan saalistus keskittyy runsaimpiin lepakopopulaatioihin ja yleensä suuriin tai keskikokoisiin lajeihin (Rosina & Shokhrin 2011, Roulin & Christe 2013). Lehtopöllöt saalistavat enemmän lepakoita urbaaneissa ympäristöissä (2,0 % saaliista), kuten puistoissa, ja vähiten metsissä (0,1 % saaliista) (Lesiński ym. 2009). Puistoissa lepakoiden osuus kaikista pyydystetyistä nisäkkäistä voi olla jopa lähes 5 %. Avoimet paikat ovat lepakoille vaarallisia, ja yleensä ne pyrkivätkin välttämään tällaisia alueita (Baxter ym. 2006). Tämä näkyy selvästi lehtopöllöjen saalistustehokkuudessa: tiheässä metsässä tai kaukana metsän reunasta lepakoita ei jää saaliiksi juuri lainkaan. Toisaalta lehtopöllöt suosivat saalistuksessaan avoimempia paikkoja, kuten metsien reunoja. Kaupunkiympäristöjen avoimuuden lisäksi lepakoiden suureen osuuteen lehtopöllöjen ruokavaliossa voi vaikuttaa muun saaliin yleisyys (Lesiński ym. 2009). Urbaaneilla alueilla elävien pöllöjen ruokavalio eroaa metsässä elävistä. Kaupunkien ulkopuolella myyrät ovat huomattavan tärkeä osa lehtopöllöjen ravintoa, mutta kaupunkimaisessa ympäristössä niitä on vähemmän. Kun perinteisesti tärkeintä saalista on huonosti saatavilla, lehtopöllöt muokkaavat ruokavalionsa pyydystettävissä olevan ravinnon mukaan. Onkin aiheellista olettaa, että lepakoiden määrä lehtopöllön ruokavaliossa riippuu siitä, paljonko niitä on saatavilla. Alueiden väliset erot voidaan siis kiteyttää lehtopöllön opportunistisiin ja tapaan pyydystää helposti saatavilla olevia lajeja sekä pääravinnon runsauden muutoksiin (Lesiński ym. 2009). Alueiden sisällä lepakoiden saalistus keskittyy yhdyskuntien luokse, missä lepakoita on paljon liikkeellä samanaikaisesti ja niiden liikkeet ovat ennustettavia (Lesiński ym. 2012).

Alueellisen vaihtelun lisäksi pöllöjen lepakoihin kohdistuvassa saalistuksessa voidaan havaita ajallista vaihtelua. Rosina & Shokhrin (2011) tutkivat Venäjän itärannikolla lepakoiden osuutta eri pöllölajien ruokavaliossa. Lepakoita pyydystettiin eniten keväisin ja syksyisin: syksyllä määrällisesti eniten, mutta keväällä saaliksi jääneiden lepakoiden lajirunsaus oli suurin. Sekä keväällä että syksyllä huuhkajalta löydettiin oksennuspalloja, jotka sisälsivät ainoastaan lepakoiden luita. Syksyllä suurin osa saaliiksi jääneistä lepakoista oli nuoria aikuisia, jotka olivat syntyneet samana kesänä. Myös ajallisessa vaihtelussa lepakoiden yleisyys ja alttius pyydystämiselle ovat todennäköisesti vuodenaikaa merkittävimpiä tekijöitä. Keväisin ja syksyisin lepakot siirtyvät talvehtimis yhdyskuntiin, joten niitä on paljon liikkeellä (Rosina & Shokhrin 2011). Lisäksi syksyllä on paljon nuoria, kokemattomia lepakoita, jotka voivat olla aikuisia helpompia saaliita.

1.5 Yhdyskunnasta poistuminen – välttämätön riski

Lepakointa saalistetaan eniten siellä missä ne ovat yleisiä, ja missä niitä on helppo pyydystää. Lepakoiden yhdyskunnat voivat olla hyvin suuria ja joka ilta ryhmässä poistuvat lepakot muodostavat pedoille hyviä ravintolaikkuja, joiden esiintyminen on ennustettavaa sekä ajassa että tilassa. Yhdyskunnasta poistuminen onkin lepakoille saalistuksen kannalta kaikkein riskialttein aika ja paikka (Fenton & Fleming 1976, Baxter ym. 2006, Janos & Root 2014) ja joidenkin petolintujen on havaittu odottavan yhdyskuntien luona, jo ennen kuin lepakot ovat lähteneet liikkeelle (Rodríguez-Durán & Lewis 1985, Fenton ym. 1994).

Suuret yhdyskunnat ja ryhmässä poistuminen houkuttelevat paikalle saalistajia, mutta toisaalta ne voivat pienentää yksilön todennäköisyyttä tulla syödyksi. Uhkaavassa tilanteessa lepakoiden on huomattu lähtevän liikkeelle tiiviimmässä ryhmässä (Fenton ym. 1994, Petrzelková & Zukal 2000). Ryhmäytymisen syyksi on arveltu yksinkertaisesti pesäpaikkojen rakennetta, jossa lepakot joutuvat kulkemaan ahtaista paikoista, synkronoitua ruokailukäyttäytymistä tai antipredaativasteita (Petrzelková & Zukal 2001). Saalistajilta kuluu tietty aika saaliin käsittelyyn, ja jos lepakot onnistuvat poistumaan tämän käsittelyajan sisällä, peto ei ehdi tehdä useampaa hyökkäystä ja todennäköisyys omasta selviytymisestä kasvaa (Fenton ym. 1994). Petojen saalistustehokkuus onkin suurin sellaisissa paikoissa, missä on paljon lepakointa ja saaliin käsittely sujuu nopeasti. Myös teoria itsekkästä laumasta (selfish herd, Hamilton 1971) tukee lepakoiden ryhmäytymistä uhkaavassa tilanteessa. Teorian mukaan peto valitsee saaliikseen sitä lähinnä olevan yksilön. Saaliseläinten on mahdotonta tietää tarkasti, mistä peto ilmestyy, joten kaikki pyrkivät kohti ryhmän keskustaa, jättäen lajitoverinsa ryhmän ulkoreunalle. Tämä itsekäs pedon välttäminen muiden kustannuksella johtaa ryhmäytymiseen. Suurin osa lauma- ja parvieläimistä kerääntyy yhteen uhkaavassa tilanteessa, joten lepakoiden käyttäytyminen ei ole luonnossa poikkeuksellista.

Valon määrä poistumishetkellä on yhteydessä saalistusriskiin: mitä aikaisemmin tai valoisammassa lepakot lähtevät liikkeelle, sitä suurempi on riski tulla syödyksi (Jones & Rydell 1994). Lepakot eivät voi kuitenkaan viivästyttää lähtöään loputtomiin, sillä lentäviä hyönteisiä on eniten hämärän aikaan – mitä aikaisemmin lepakot lähtevät liikkeelle, sitä pidempään ne voivat saalistaa itse. Lähtöaika on siis kompromissi oman energian saannin ja pedon välttämisen välillä (Jones & Rydell 1994, Russo ym. 2007). Pohjolassa lepakoiden kynnys siirtää lähtöaikaa voi olla suuri kesän lyhyiden ja valoisien öiden takia, jotka rajoittavat aktiivista aikaa.

Energian tarpeen kasvaessa lisääntyntä riskinottoa on pidetty osoituksena tasapainoilusta ravinnonhankinnan ja petojen välttämisen välillä (Lima 1998). Esimerkiksi lähellä nälkiintymistä olevat yksilöt ovat valmiita ottamaan enemmän riskejä, ja lähtemään liikkeelle valoisin aikaan, kun nälkään kuoleminen on saaliiksi joutumista todennäköisempää (Duvergé ym. 2000). Nälkiintymisen lisäksi lepakoiden energeettiset tarpeet muuttuvat tiineyden ja imetyksen aikana, mikä vaikuttaa lepakoiden

lähtöaikaan (Duvergé ym. 2000, Russo ym. 2007). Sekä tiineys että imetys lisäävät lepakoiden energian tarvetta, joten naaraat aikaistavat lähtöään niiden aikana, poikkeuksena tiineyden loppuosa, jolloin lepakoiden kasvanut paino tekee ne kömpelöiksi ja alttiiksi saalistukselle.

Saalistusriski, valo ja energian tarve vaikuttavat pesästä poistumiseen, mutta näiden lisäksi myös muilla ulkoisilla ja sisäisillä tekijöillä on vaikutusta. Esimerkiksi habitaatti vaikuttaa poistumisaikaan: lepakot lähtevät aikaisemmin liikkeelle suljetuilla paikoilla, joissa esimerkiksi oksisto tarjoaa suojaa pedolta (Russo ym. 2007). Suurissa yhdyskunnissa lepakot luottavat ryhmäytymiseen ja lähtevät aikaisemmin, kun taas pienet yhdyskunnat pyrkivät olemaan vaikeammin ennustettavia ja saattavat vaihdella lähtöaikaa tai jopa pesän paikkaa (Fenton ym. 1994). Lepakoiden ekologiassa on fylogeniaa suurempi vaikutus poistumisaikaan (Jones & Rydell 1994). Erikokoiset lajit lentävät eri nopeuksilla, ja suuret, nopeasti lentävät lajit tapaavat lähteä hitaita aikaisemmin liikkeelle (Jones & Rydell 1994, Thomas & Jacobs 2013). Lentonopeuden lisäksi ruokailuhabitaatilla ja ruokavaliolla on väliä. Tiheässä metsässä ruokailevat lajit lähtevät aikaisemmin liikkeelle (Thomas & Jacobs 2013), kun taas esimerkiksi vesisiippa (*Myotis daubentonii*), joka saalistaa avoimen veden päällä kaukana suojasta, lähtee liikkeelle myöhään (Jones & Rydell 1994). Yöperhosia syövät lajit voivat välttää saalistusta tinkimättä ravinnonsaannista ja lähteä myöhemmin liikkeelle, mutta hämärän aikaan lentäviä hyönteisiä syövät lajit joutuvat sovittamaan oman aktiivisuutensa niiden mukaan (Jones & Rydell 1994, Thomas & Jacobs 2013).

1.6 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit

Vaikka lepakoilla ei ole lauhkealla vyöhykkeellä tai Suomessa erikoistunutta petoa, niitä kuitenkin saalistetaan. Niinpä voidaan olettaa, että petojen ja saalistuksen välttäminen on lepakoiden etu ja ne eivät ole normaalien peto-saalis-vuorovaikutusten ulottumattomissa. Pöllöt jakavat saman aktiivisen ajan lepakoiden kanssa ja niiden on todettu useaan otteeseen syövän lepakoita (Lesiński ym. 2009, Rosina & Shokhrin 2011, Lesiński ym. 2012). Lehtopöllö on generalisti, joka hyödyntää saatavilla olevaa ravintoa, ja esimerkiksi Speakman (1991) totesi niiden saalistavan lepakoita enemmän kuin minkään muun lajin.

Lepakoita voidaan saalistaa niiden poistuessa päiväpiilosta ja saalistaessa. Päiväpiilosta poistuminen on saaliiksi jäämisen kannalta kaikkein riskialttein hetki, koska lepakoiden läsnäolo on ennustettavissa. Aikainen päiväpiilosta poistuminen mahdollistaa lepakoille pidemmän saalistusajan, mutta valoisammat olosuhteet lisäävät riskiä jäädä saaliiksi. Niinpä uhkaavassa tilanteessa lepakoiden kannattaa siirtää omaa lähtöään myöhäisemmäksi ja odottaa pimeää, jopa oman saalistuksensa kustannuksella.

Jyrsijöillä tehdyillä kokeilla ääniärsyksen vuoksi esitettyjen antipredaatiiovasteiden on todettu olevan mahdollisesti opittuja (Kindermann ym. 2009). Koska simuloin omassa kokeessani petoa äänillä, halusin testata myös opittujen antipredaatiiovasteiden mahdollisuuden vertailemalla lepakoiden käyttäytymistä lehtopöllöreviireillä ja paikoilla, joissa lepakot eivät todennäköisesti ole kohdanneet lajia.

Näiden tietojen pohjalta pyrin vastaamaan tässä tutkimuksessa kolmeen kysymykseen.

1. Esittävätkö lepakot antipredaatiiovasteita poistumalla päiväpiilostaan myöhemmin, kun päiväpiilon edustalta kuuluu lehtopöllön ääntelyä?

H0: Lehtopöllön ääntelyllä tai kontrollina käytetyllä musiikilla ei ole vaikutusta lepakoiden lähtöaikaan.

H1: Lepakot esittävät antipredaatiiovasteita ja lähtevät myöhemmin liikkeelle, kun lehtopöllö (aikuinen tai poikanen) ääntelee.

H2: Lepakot esittävät antipredaatiiovasteita ja lähtevät myöhemmin liikkeelle, kun aikuinen lehtopöllö ääntelee.

H3: Lepakot esittävät antipredaatiiovasteita ja lähtevät myöhemmin liikkeelle, kun lehtopöllön poikanen ääntelee. Poikaset ääntelevät aikuista korkeammalla taajuudella, joten on mahdollista, että lepakot tarvitsevat riittävän korkean ääniärsyksen reagoidakseen.

H4: Lepakot lähtevät myöhemmin liikkeelle, kun päiväpiilon edustalla kuullaan joko lehtopöllön (aikuisen tai poikasen) ääntelyä tai musiikkia. Lepakot eivät esitä antipredaatiiovasteita ja tunnista lehtopöllön ääntelyä uhaksi, vaan ne kokevat kaikenlaiset äänet häiriönä.

2. Esittävätkö lepakot antipredaatiiovasteita saalistaessaan ja vähentävätkö ne aktiivisuuttaan lehtopöllön huhuillessa? Lepakoiden aktiivisuutta mitataan niiden läsnäololla.

H0: Lehtopöllön huhuilu tai musiikki eivät vaikuta lepakoiden läsnäoloon.

H1: Lepakot esittävät antipredaatiiovasteita kuulleessaan lehtopöllön huhuilua ja niitä on silloin läsnä vähemmän tai ei lainkaan.

H2: Lepakot eivät esitä antipredaatiiovasteita, vaan ne reagoivat ääniin ja vähentävät läsnäoloaan kuullessaan lehtopöllön huhuilua tai musiikkia.

Mikäli kysymyksen 2. *Esittävätkö lepakot antipredaativasteita saalistaessaan ja vähentävätkö ne aktiivisuuttaan lehtopöllön huhuillessa?* hypoteesi H1 *Lepakot esittävät antipredaativasteita kuulleessaan lehtopöllön huhuilua* on tosi, esitetään vielä jatkokysymys:

3. Ovatko lepakoiden antipredaativasteet opittuja ja reagoivatko lepakot, jotka ovat kuulleet lehtopöllön huhuilua aiemmin eri tavalla, kuin lepakot, jotka eivät ole aiemmin kuulleet lehtopöllön huhuilua?

H0: Lepakot, jotka ovat kuulleet lehtopöllön huhuilua aiemmin eivät reagoi eri tavalla, kuin lepakot, jotka eivät ole kuulleet lehtopöllön huhuilua ennestään. Antipredaativasteet eivät ole opittuja.

H1: Lepakot, jotka ovat kuulleet lehtopöllön huhuilua aiemmin, vähentävät aktiivisuuttaan kuullessaan lehtopöllön huhuilua toisin kuin lepakot, jotka eivät ole kuulleet lehtopöllön huhuilua aiemmin.

Antipredaativasteet ovat opittuja.

2. Materiaalit ja menetelmät

2.1 Aineistonkeruu

Tutkin lepakoiden antipredaativasteita kahdella eri kokeella, joissa testasin 1. muuttavatko lepakot käyttäytymistään poistuessaan päiväpiilosta uhkaavassa tilanteessa ja 2. muuttavatko lepakot käyttäytymistään saalistaessaan tilanteen ollessa uhkaava. Simuloin kummassakin kokeessa pedon läsnäoloa nauhoitetulla lehtopöllön ääntelyllä. Jotta pystyin vastaamaan näihin kysymyksiin, tarvitsin tietoa lepakoiden aktiivisuudesta tai sen puutteesta sekä uhkaavassa että normaalissa tilassa. Samaan aikaan halusin myös saada mahdollisimman suuren otannan ja tarkkailla useampaa paikkaa samaan aikaan. Näistä syistä keräsin lepakoista ääniaineistoa nauhoittamalla niiden kaikuluotausta (O'Farrel & Gannon 1999, Britzke ym. 2013).

Passiivisesti toimivat nauhurit voi ohjelmoida nauhoittamaan joka ilta samaan aikaan, eivätkä ne vaadi tarkkailijan läsnäoloa toimiakseen. Tällä tavoin pystyin tarkkailemaan kontrolloidusti useampaa paikkaa

samanaikaisesti. Kaikuluotauksen äänittäminen antaa myös luotettavaa tietoa lepakoiden aktiivisuudesta. Lepakot suunnistavat ja saalistavat luottaen kaikuluotaukseen, joten ei ole todennäköistä, että ne ohittaisivat nauhurin lentäen äänettömästi. Lepakoiden kaikuluotaus on myös taajuudeltaan niin korkea, että useimmat muut eläimet eivät kykene kuulemaan sitä. Niinpä ei ole todennäköistä, että lepakot lopettaisivat kaikuluotauksen välttääkseen petoa, mutta jäisivät silti paikalle.

2.1.1 Laitteet

Käytin kaikuluotauksen äänitykseen AudioMoth -ultraäänitallentimia

(<https://www.openacousticdevices.info/audiomoth>) (Kuva 1). Asetin laitteille seuraavat asetukset käyttäen ohjelmaa AudioMoth Configuration App (versio 1.2.5 <https://www.openacousticdevices.info>): Sample rate (kHz) 256 ja Gain Low. Ohjelmoin AudioMothit nauhoittamaan 10 minuutin jaksoissa, siten että ne nauhoittivat 598 sekunnin ajan, jota seurasi kahden sekunnin tauko ilman nauhoitusta. Tällä tavoin pystyin nauhoittamaan lähes yhtäjaksoisesti, mutta nauhoitukset olivat kooltaan helpommin käsiteltävissä.

Kokeissa käytettyjen äänitteiden soittamiseen käytettiin T-508 radioita (Kuva 2). Radioiden äänenvoimakkuus säädettiin siten, että äänet olivat selkeästi kuultavissa 5-10 metrin päähän radiosta.



Kuva 1. AudioMoth-ultraäänitallennin



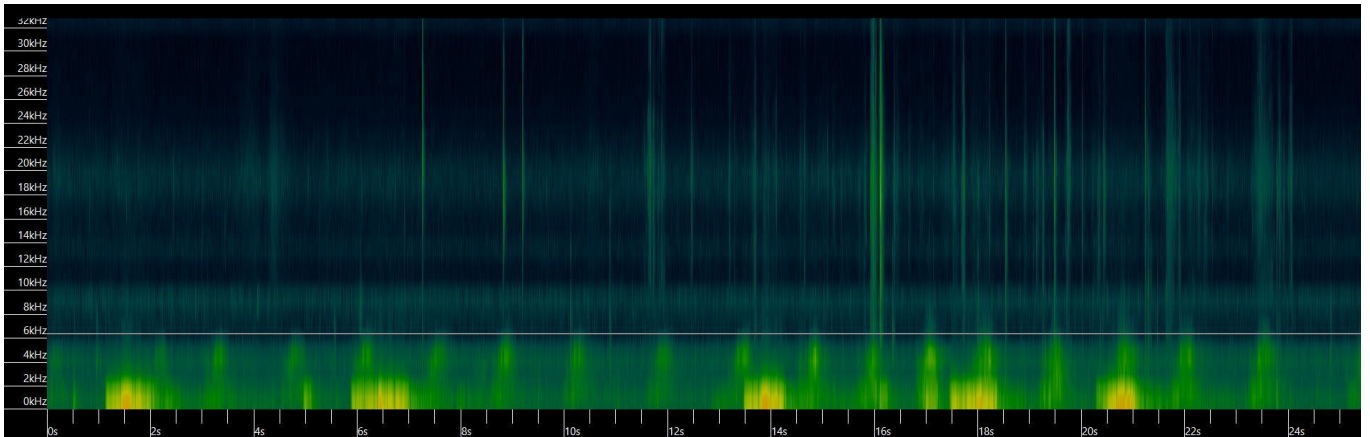
Kuva 2. T-508 radio

2.1.2 Käsittelyt ja äänitteet

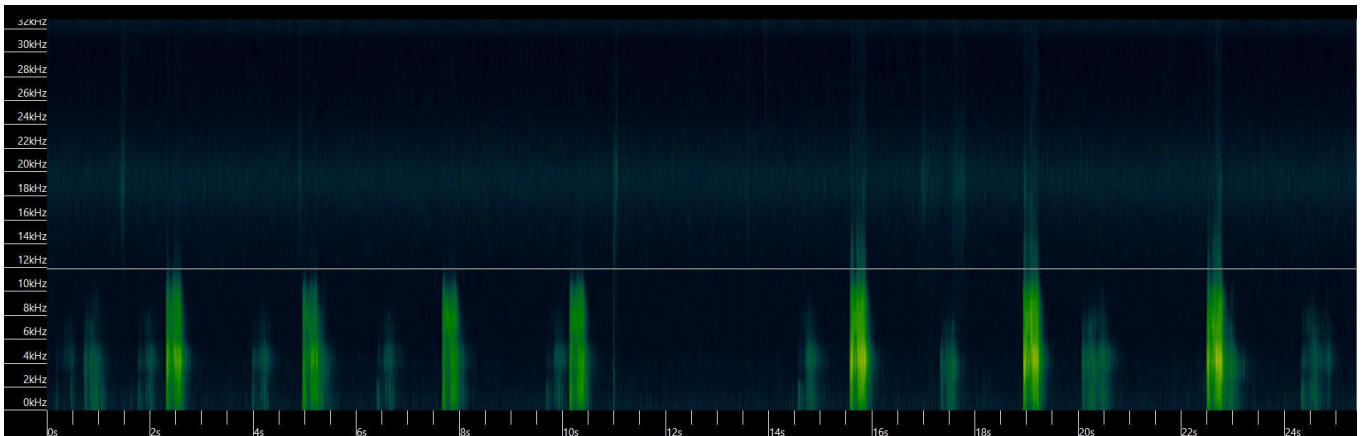
Eläimet tarkkailevat ympäristöään ja keräävät siitä tietoa eri aistein. Lepakot käyttävät kaikuluotausta ympäristön tarkkailuun ja suunnistamiseen, mikä tarkoittaa, että ne luottavat kuuloonsa vastaanottaessaan kaikuluotausääniä. On siis mahdollista, että lepakot hyödyntävät kuuloaistiaan myös petojen havainnoinnissa. Pöllöt ovat äänettäviä saalistajia, mutta ne äänittelevät esimerkiksi reviiirikäyttäytymisen yhteydessä. Pöllön huhuilu kertoo saalistajan läsnäolosta ja yleisestä uhan olemassaolosta, johon voi olla hyvä reagoida ennakkoiden. Pöllöistä lehtopöllö (*Strix aluco*) valikoitui tutkimuslajiksi, koska se on generalisti, joka hyödyntää monipuolisesti saatavilla olevaa ravintoa. Speakman (1991) totesi lehtopöllön saalistavan lepakoita enemmän, kuin minkään muun lajin ja sen on todettu saalistavan lepakoita myös Suomessa. Lisäksi sen levinneisyysalue kattaa Etelä-Suomen ja se pesii ihmisen läheisyydessä ja käyttää samoja habitaatteja lepakoiden kanssa. Pöllön huhuilua on käytetty myös aikaisemmissa tutkimuksissa (Petrzelková & Zukal 2001, Baxter ym. 2006, Janos & Root 2014) ja pienten nisäkkäiden on havaittu reagoivan nauhoitettuun lehtopöllön huhuiluun esittämällä antipredaatiiovasteita (Hendrie ym. 1998).

Käytin tutkimuksessa kahta predaatiouhkaa ja kahta kontrollia: 1. uhkaava ääni – lehtopöllön huhuilu, 2. uhkaava ääni – lehtopöllön poikasen ääntely, 3. kontrolli – musiikki ja 4. kontrolli – hiljaisuus. Poikaset äänittelevät korkeammalla taajuudella aikuisiin nähden, joten ääntelyn taajuus on lähempänä taajuutta, jolla lepakot kuulevat parhaiten. Tätä ei ole tietääkseni testattu aikaisemmin. Poikasen ääntelyä käytettiin vain päiväpiilo -tutkimuksessa. Kontrolliksi on valittu positiivinen kontrolli, äänettävyys, ja negatiivinen kontrolli, musiikki (Ozzy Osbourne), joiden ei kummankaan pitäisi edustaa lepakoille vaaraa. Positiivinen kontrolli toimii vertailukohtana käsittelyille ja negatiivinen kontrolli vertailuna sille, reagoivatko lepakot uhkaan vai ylipäättään ääniin. Kaikki käytetyt äänitteet olivat 2 minuutin pituisia ja ne toistuivat 20 sekunnin välein koko nauhoituksen ajan.

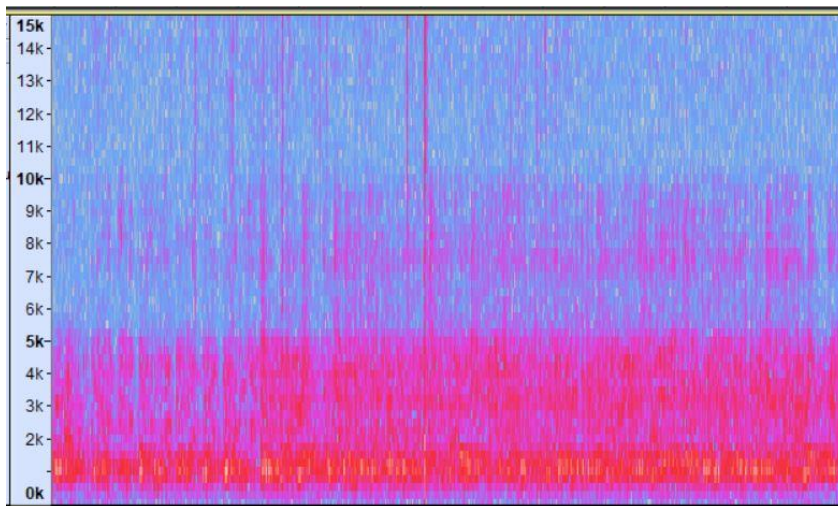
Lepakot kuulevat parhaiten taajuudella, jolla ne kaikuluotaavat itse, mutta ne kuulevat myös omaa kaikuluotaustaan matalampia ja korkeampia ääniä (Lattenkamp ym. 2021). Esimerkiksi lepakoiden oma sosiaalinen ääntely tapahtuu kaikuluotausta matalammalla taajuudella. Lattenkamp ym. (2021) totesivat lepakoiden kuuloherkkyyden kasvavan 5-15 kHz välillä, jolloin erot äänenvoimakkuuksien erottamisessa selkeytyivät. Lepakot havaitsivat myös matalampia ääniä mutta suppeammalta desibeliskaalalta. On siis hyvin todennäköistä, että AudioMoth laitteen lähellä liikkuvat lepakot ovat kuulleet sen yhteydessä olleesta radiosta kuuluvat äänet. Kaikki tutkimuksessa käytetyt äänitteet ovat olleet taajuudeltaan yli 5 kHz; lehtopöllö noin 6,1 kHz (Kuva 3), musiikki noin 5,5 kHz (Kuva 5) ja poikasten ääntelyn taajuus jopa 12 kHz (Kuva 4).



Kuva 3. Pätkä lehtopöllön huhuilua radiosta soitettuna, esitettynä Kaleidoscopessa tehdyllä spektrogrammilla. Y-akselilla esitettynä taajuus kilohertseinä (kHz) ja x-akselilla aika sekunteina (s). Apuviivalla merkittynä huhuilun korkein taajuus, joka on noin 6,1 kHz (Kaleidoscope, versio 5.3.5, Wildlife Acoustics, Inc. 2020).



Kuva 4. Pätkä poikasen ääntelyä radiosta soitettuna. Apuviivalla merkittynä ääntelyn korkein taajuus, joka on noin 12 kHz (Kaleidoscope, versio 5.3.5, Wildlife Acoustics, Inc. 2020).



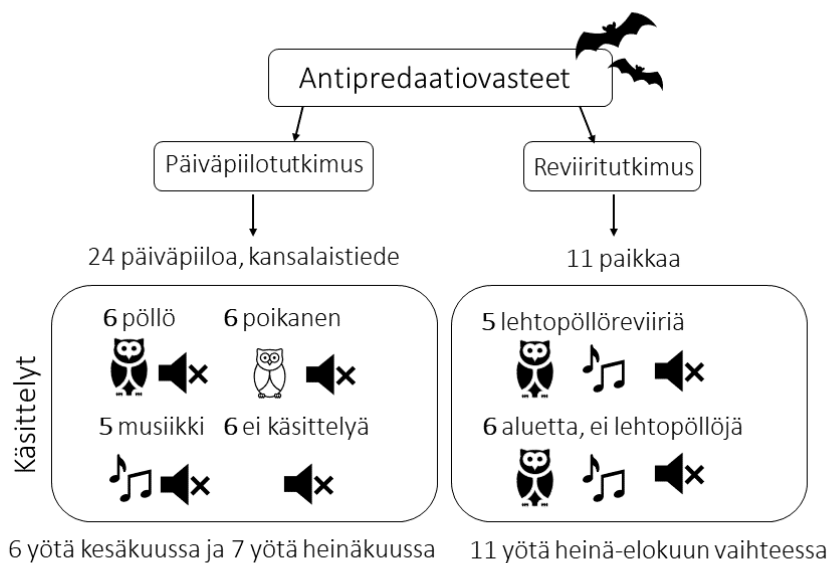
Kuva 5. Pätäkä musiikkia radiosta soitetuna, esitetynä Audacitylla tehdyllä spektrogrammilla. Y-akselilla taajuus kilohertseinä (kHz). Korkein taajuus on noin 5,5 kHz (Audacity, versio 2.3.2, <https://www.audacityteam.org/>)

2.2 Koeasetelmat

Tutkin lepakoiden antipredaatiiovasteita kahdella erillisellä kokeella, joissa äänitin lepakoiden kaikuluotausta sekä simuloin pedon uhkaa nauhoitteilla. Ensimmäisessä kokeessa tutkin lepakoiden käyttäytymistä niiden poistuessa päiväpiilosta ja toisessa lepakoiden käyttäytymistä niiden saalistaessa. Tutkimus on ensimmäinen laatuaan Suomessa.

Yhdyskunnasta tai päiväpiilosta poistuminen on lepakoille kaikkein riskialttein hetki joutua saalistuksen kohteeksi (Fenton & Fleming 1976, Baxter ym. 2006, Janos & Root 2014), joten testasin, onko lehtopöllön huhuilulla tai lehtopöllön poikasen ääntelyllä vaikutusta lepakoiden poistumiseen. Tästä eteenpäin tähän kokeeseen viitataan nimellä **päiväpiilotutkimus**.

Koska äänen yhdistäminen uhkaan voi olla opittua, äänitin lepakoita sekä lehtopöllöreviireillä että paikoilla, joilla ei ole lehtopöllöhavaintoja. Aineiston avulla testasin, muuttuuko lepakoiden aktiivisuus lehtopöllön huhuilun aikana eri tavoin näillä paikoilla. Samalla keräsin aineistoa lepakoiden antipredaatiokäyttäytymisestä niiden saalistaessa. Tästä eteenpäin tähän kokeeseen viitataan nimellä **reviiritutkimus**.



2.2.1 Päiväpiilotutkimus

Päiväpiilotutkimukseen otettiin mukaan 24 lepakoiden päiväpiiloo Etelä-Suomesta, joiden edustalla nauhoitettiin lepakoiden kaikuluotausta ja simuloitiin predaatiouhkaa. Nämä 24 päiväpiiloo jaettiin satunnaisesti neljään ryhmään, siten että jokaisessa ryhmässä oli 6 paikkaa. Jokaiselle ryhmälle annettiin yksi käsittely: 1. uhkaava ääni – lehtopöllön huhuilu, 2. uhkaava ääni – lehtopöllön poikasen ääntely, 3. kontrolli – musiikki ja 4. kontrolli – ei ääniärsykettä. Eri käsittelyjä lukuun ottamatta nauhoitukset tehtiin kaikilla paikoilla samalla tavalla.

Lepakoiden seurattiin kahdessa jaksossa, kuutena yönä kesäkuussa ja seitsemänä yönä heinäkuussa. Ensimmäisen jakson nauhoitukset tehtiin 8.-13.6. peräkkäisinä öinä ja toisen jakson nauhoitukset laajemman aikaikkunan välillä 2.-15.7. Kaksi laitetta (laitteet 9 ja 18) saatiin paikoilleen vasta toisen jakson alussa. Kesäkuussa nauhoitus tehtiin klo 21.15-23.45, joka havaittiin kuitenkin liian aikaiseksi. Heinäkuun nauhoitus tehtiin klo 22.00-00.30. Kummallakin jaksolla kaksi ensimmäistä yötä nauhoitettiin ilman ääniärsykettä, jotta jokaiselta paikalta saatiin sille ominainen vertailukohta lepakoiden lähtöajasta ilman predaatiouhkaa. Viimeiset neljä tai viisi yötä äänitettiin paikalle osoitetun käsittelyn kanssa. Ääniärsykettä soitettiin radiolla vähintään koko nauhoituksen ajan.

Lepakoiden lähtöä seurattiin nauhoittamalla niiden kaikuluotausta AudioMoth-ultraäänitallentimilla, jotka sijoitettiin noin 5 metrin päähän lepakoiden ulostuloaukosta. Tallentimet suojattiin kosteudelta ja mahdolliselta sateelta minigrip-pussilla ja kiinnitettiin puuhun tai esimerkiksi tolppaan nippusiteen tai

narun avulla (Kuva 6). Radio sijoitettiin noin 5 metrin päähän AudioMoth-laitteesta ja sen äänenvoimakkuus säädettiin siten, että äänet olivat selkeästi kuultavissa 5 metrin päähän radiosta.



Kuva 6. AudioMoth-ultraäänitallentimen kiinnitys puuhun Hvitträskin kartanolla (laite 4).

2.2.1.1 Kansalaistiede

Tutkimukseen käytetyt paikat kerättiin osittain kansalaistieteen avulla ja myös suuri osa äänityksistä tehtiin kansalaistiedettä hyödyntäen. Keräsin keväällä 2020 vapaaehtoisia osallistujia, joilla oli tiedossa lepakoiden päiväpiilon sijainti Uudellamaalla, Varsinais-Suomessa, Kanta-Hämeessä tai Kymenlaaksossa. Suurin osa osallistujista nauhoitti lepakoita omalla kotipihallaan tai mökillään, joten kansalaistieteen avulla sain mukaan paikkoja, joita en muuten olisi pystynyt seuraamaan. Tutkimukseen osallistui 22 kansalaista.

Lähetin tutkimukseen tarvittavat välineet ja ohjeet (Liite 1) postitse toukokuussa 2020 ennen ensimmäisen nauhoitusjakson alkua. Osallistujille lähetetyt paketit sisälsivät **1.** AudioMoth-ultraäänitallentimen, joka oli ohjelmoitu nauhoittamaan oikeaan aikaan, **2.** T-508 -radion, jonka sisällä oli muistikortti, jolle oli tallennettu käsittelyssä käytettävä äänite, **3.** minigrip-pusseja AudioMothin ja radion suojaksi, **4.** nippusiteitä laitteiden puuhun kiinnitystä varten ja **5.** kaapelin, joka mahdollisti AudioMothin yhdistämisen tietokoneeseen ongelmatilanteiden varalta.

Tutkimuksen aikana viestin osallistujien kanssa pääasiassa sähköpostitse, mutta ongelmatilanteissa myös puhelimitse ja tekstiviesteillä. Osallistujille lähetettiin muistutus molempien nauhoitusjaksojen alkamisesta ja loppumisesta sekä käsittelyjen alkamisesta kolmantena nauhoituspäivänä.

2.2.2 Reviiritutkimus

Reviiritutkimuksessa vertailtiin lepakoiden aktiivisuutta nauhoittamalla niiden kaikuluotausta lehtopöllöreviireillä ja alueilla, joilla ei ole havaittu lehtopöllöjä. Tässä tutkimuksessa lehtopöllöreviiriksi määriteltiin alue, jolla oli havaittu BirdLife Suomen Tiira -järjestelmän perusteella lehtopöllön reviiri vuoden 2017 jälkeen, mahdollisuuksien mukaan vuonna 2020. Jos alueella ei ollut havaintoja lehtopöllöstä tai sen pesinnästä vuoden 2017 jälkeen, se määriteltiin alueeksi, jolla ei ole lehtopöllöjä. Tutkimukseen valittiin 11 paikkaa, 5 lehtopöllöreviiriä ja 6 paikkaa, joilla ei ollut lehtopöllöhavaintoja (Kartta 1). Paikoista 9 sijaitsi Helsingissä, 1 Espoossa ja 1 Rantasalmella.

Nauhoituspaikat valittiin siten, että lehtopöllöpisteet olivat maksimissaan 100 metrin säteellä havaitusta pesinnästä ja pöllöttömät pisteet vähintään 1 kilometrin päässä kaikista lehtopöllöhavainnoista. Kaikki paikat olivat ihmisen vaikutuksen alaisia mutta eivät asutuksen välittömässä läheisyydessä. Esimerkkejä tällaisista paikoista ovat lenkipolut ja vanhat rakennukset ja ladot. Paikat valittiin siten, että ne eivät olleet luonnonsuojelualueilla.

Taulukko 1. Käsittelyt laitteittain.

Laite	Reviiri	Yö 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	kyllä			🦉		🎵			🦉		🎵		
2	kyllä	🦉		🎵		🦉			🎵				
3	kyllä			🦉		🎵			🦉		🎵		
4	kyllä		🎵		🦉		🎵					🦉	
5	kyllä		🦉		🎵		🦉					🎵	
6	ei	🦉		🎵		🦉					🎵		
7	ei	🎵		🦉		🎵					🦉		
8	ei		🦉		🎵				🦉			🎵	
9	ei		🎵		🦉		🎵					🦉	
10	ei		🦉		🎵		🦉					🎵	
11	ei				🦉		🎵		🦉		🎵		🦉

Äänitin lepakoita AudioMoth-ultraäänitallentimilla, jotka oli ohjelmoitu nauhoittamaan klo 22.30-1.30. Laitteet kiinnitettiin nippusiteillä tai narulla noin 2 metrin korkeuteen ja jätettiin paikoilleen tutkimuksen ajaksi. Pöllön huhuilun ja musiikin soittamiseen käytettiin T-508 radioita, jotka jätettiin käsittelyn ajaksi pakasterasiassa maahan noin 5 metrin päähän AudioMoth-nauhurista. Äänenvoimakkuus säädettiin niin, että radio oli kuultavissa noin 10 metrin päähän. Äänitteitä soitettiin koko yöllisen nauhoituksen ajan, radiot vietiin paikoilleen 21.15 ja 22.30 välillä ja haettiin pois 1.30 ja 2.45 välillä.

2.3 Analyysit

2.3.1 Äänianalyysi

Käytin kaikkiin ääniaineiston analyysihin Kaleidoscope Pro -ohjelmistoa (versio 5.3.5, Wildlife Acoustics, Inc. 2020). Ohjelma pilkkoi äänitteet 10 sekunnin mittaisiin pätkiin ja tunnisti lepakot alustavasti lajitasolle. Asetin ohjelman hakemaan kaikkia Suomen lepakolajeja (*Eptesicus nilssonii*, *Myotis daubentonii*, *Myotis mystacinus*, *Myotis brandtii*, *Plecotus auritus*, *Vespertilio murinus*, *Nyctalus noctula*, *Pipistrellus nathusii*,

Pipistrellus pipistrellus, *Pipistrellus pygmaeus*, *Myotis nattereri*, *Myotis dasycneme*, *Eptesicus serotinus*), koska tavoitteena oli saada kaikki aktiivisuus mukaan tutkimukseen lajista riippumatta. Haun herkkyys oli neutraali (0, balanced, neutral). Hain ääniä seuraavilla asetuksilla: minimi- ja maksimitaajuuden väli 16-120 kHz, pulssien minimi- ja maksimipituus 1-200 ms, maksimiväli pulssien välillä 200 ms ja havaittujen pulssien vähimmäismäärä 1. Ohjelmaan vietiin sisään alkuperäisiä 598 sekunnin mittaisia WAV-tiedostoja, jotka pilkottiin 10 sekunnin mittaisiksi WAV-tiedostoiksi. Jokaiseen 10 sekunnin mittaiseen tiedostoon liitettiin mahdollinen laji tai se luokiteltiin joko tunnistamattomaksi lajiksi (NoID) tai meluksi (Noise), jos Kaleidoscope Pro ei löytänyt tiedostosta lepakoita. Lisäksi jokaiseen tiedostoon liitettiin sekunnin tarkkuudella nauhoituksen kellonaika ja päivämäärä.

Automaattisen lajitunnistuksen jälkeen lisäsin aineistoon lepakoiden läsnäoloa kuvaavan muuttujan (1 = lepakkoaktiivisuutta, 0 = ei lepakoita). Aktiivisuutta ei eroteltu lajitasolla, vaan kaikki aineistossa esiintyvät lepakot saivat merkinnän 1. Kävin läpi manuaalisesti kaikki tiedostot, jotka Kaleidoscope Pro oli tunnistanut lepakoiksi, sekä NoID-tiedostot. Koska ohjelma osoittautui melko heikoksi löytämään siippoja (*Myotis* sp), kävin osittain läpi myös kaikki Noise-tiedostot. Reviiritutkimus-aineistossa kävin läpi kaikki tiedostot ja päiväpiilotutkimus-aineistossa kaikki tiedostot alkaen 5 minuuttia ensimmäisestä ohjelman tai itseni havaitsemasta lepakosta, kuitenkin niin, että kaikki tiedostot viimeistään klo 23.20 eteenpäin käytiin läpi. Merkitsin manuaalisesti aineistoon ainoastaan lepakoiden läsnäolon, mutta keräsin jokaisella paikalla esiintyvät lajit omaan tiedostoonsa. Siippoja (*Myotis*) ei pystynyt tunnistamaan lajilleen kaikuluotauksen perustella.

2.3.2 Tilastolliset analyysit

2.3.2.1 Päiväpiiloaineisto

Päiväpiiloaineistoon on nauhoitettu 23 AudioMoth-ultraäänitallentimella lepakoiden kaikuluotausta. Nauhoitukset on pilkottu 10 sekunnin mittaisiin pätkiin, joita on aineistossa yhteensä 206 461. Jokaiseen äänitiedostoon on liitetty sen nauhoittaneen laitteen numero (1-24), paikalla ollut käsittely (lehtopöllö, pöllön poikanen, musiikki, kontrolli), nauhoituksen kellonaika esitettynä numeerisena arvona (0,000000-1,000000; 0 = 0.00 ja 1 = 23.59), nauhoituksen yö (1-13), yön käsittely (pöllö, poikanen, musiikki, kontrolli), jakso (1 tai 2) ja lepakoiden läsnäolo (1 lepakoita, 0 ei lepakoita).

Tilastollisiin analyyseihin käytettiin R-ohjelmaa (versio 3.6.1, R Core Team 2020). Aineisto kerättiin ensin taulukkoon, johon merkattiin paikka (Site: laitteen numero, luokkamuuttuja), aika (Time: yön ensimmäisen lepakkohavainnon aika jatkuvana numeerisena arvona), yö (Night: 1-13, luokkamuuttuja), yön käsittely

(Treatment: owl, fledgling, music, control, luokkamuuttuja), paikan käsittely (TreatmentSite: owl, fledgling, music, control, luokkamuuttuja) ja jakso (1 = kesäkuu, 2 = heinäkuu, luokkamuuttuja). Yöt, joihin lepakoita ei ollut, jätettiin pois tutkimuksesta.

Eri käsittelyjen vaikutusta lepakoiden lähtöaikaan (Time) testattiin lineaarisella sekamallilla (linear mixed model), joka tehtiin R-ohjelman lmerTest-paketilla (Kuznetsova ym. 2017). Malli 1:ssä (m1) käsittely (Treatment) ja jakso asetettiin kiinteiksi muuttujiksi, ja paikka (Site) ja yö (Night) olivat satunnaisina muuttujina, koska lepakoiden aktiivisuus ja esiintyminen voi vaihdella paikkojen ja erillisten öiden välillä, esimerkiksi sään vuoksi.

2.3.2.2 Reviirianeisto

Reviirianeisto koostuu 11 paikalta kerätystä äänianeistosta. Jokaisella paikalla aineistoa kerättiin 9-11 yön ajan klo 22.30-1.30. Ennen tilastoanalyysiä aineistoa käsiteltiin, ja se jaettiin 10 sekunnin mittaisiin pätkiin. Jokainen nauhoitettu yö sisältää 1080 10 sekunnin mittaista pätkää, joihin on liitetty nauhoituspaikka, tieto onko kyseessä lehtopöllöreviiri (reviiri/ei), nauhoitusyö (1-11), käsittely (pöllö, musiikki, kontrolli) ja lepakoiden läsnäolo (1 lepakko, 0 ei lepakko). Koko aineisto sisältää yhteensä 122 718 kappaletta 10 sekunnin äänitiedostoja.

Kaikki tilastolliset analyysit tehtiin R-ohjelmalla (versio 3.6.1, R Core Team 2020). Aineisto kerättiin ensin taulukkoon, jota käytettiin varsinaisissa analyyseissä. Taulukossa esitettiin nauhoituspaikka (Site, luokkamuuttuja), onko kyseessä lehtopöllöreviiri (Territory, reviiri/ei, luokkamuuttuja), yö (Night: 1-11, luokkamuuttuja), yöllinen käsittely (Treatment: owl, music, control, luokkamuuttuja), havaintojen määrä (Bats: summa ääniklipeistä, joissa oli lepakkoaktiivisuutta kunakin yönä, jatkuvamuuttuja) ja yöllisten ääniklippien määrä (Periods10, jatkuvamuuttuja). Koska joissakin AudioMoth-laitteissa oli toimintahäiriöitä tutkimuksen aikana, ja ne eivät nauhoittaneet kaikkia öitä kokonaan taulukkoon liitettiin vielä sarake, joka laski havaittujen lepakoiden ja nauhoitettujen pätkien suhteen ($BatsPer = Bats/Periods10$). Ainostaan yöt, joissa oli yli 1000 ääniklippiä, otettiin mukaan tutkimukseen.

Tilastollisissa analyyseissä käytettiin lineaarisia sekamalleja (linear mixed model), jotka tehtiin RStudioin lmerTest-paketilla (Kuznetsova ym. 2017). Selittävänä tekijänä oli lepakkoaktiivisuus ($BatsPer$, kts. yllä). Paikka (site) ja yö (night) valittiin satunnaisiksi muuttujiksi, koska lepakoiden määrä voi vaihdella paikkojen välillä ja esimerkiksi sää voi vaikuttaa lepakoiden yölliseen aktiivisuuteen. Testasin viittä mallia erilaisilla muuttujilla (fixed effects) (Taulukko 2). Mallien AICc-arvoja vertailtiin MuMIn-paketilla (Barton 2020).

Taulukko 2. Reviiriaineiston analyysiin käytetyt mallit.

Malli	Kiinteät muuttujat
malli0	ei kiinteitä muuttujia
malli1	reviiri
malli2	käsittely
malli3	reviiri + käsittely
malli4	reviiri*käsittely

3. Tulokset

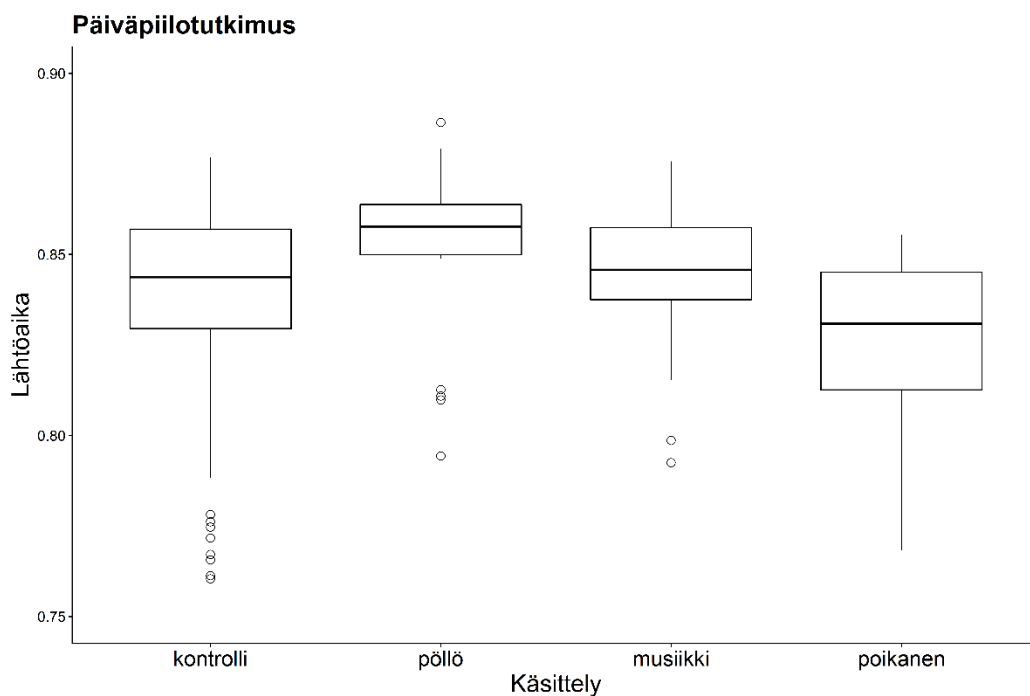
3.1 Päiväpiilotutkimuksen tulokset

3.1.1 Tilastoanalyysin tulokset

Kun tilastollisen merkittävyyden rajana pidetään p-arvoa 0.05, niin poikasen ääntely (p-arvo 0.8897) tai musiikki (p-arvo 0.4559) eivät olleet yhteydessä lepakoiden päiväpiilosta poistumisen ajankohtaan. Sen sijaan aikuisen pöllön huhuilu sai lepakot lähtemään myöhemmin liikkeelle verrattuna äänettömään kontrolliin (p-arvo 0.0178) (Taulukko 3). Keskimäärin lepakot lähtevät pöllön huhuilun aikaan noin 23 minuuttia myöhemmin liikkeelle (Kuva 7).

Taulukko 3. Päiväpiiloaineiston tulostaulukko

Käsittely	Kulmakerroin	Keskivirhe	df	t-arvo	p-arvo
lehtopöllö	0.0141	0.0058	96.859	2.411	0.0178*
poikanen	0.0007	0.0051	65.020	0.139	0.8897
musiikki	-0.0039	0.0052	68.459	-0.750	0.4559



Kuva 7. Lepakot lähtevät myöhemmin liikkeelle, kun äänitettä lehtopöllön huhuilusta soitetaan. Muilla käsittelyillä ei ole vaikutusta lähtöaikaan.

3.1.2 Havaitut lajit

Vaikka eri lajeja ei eroteltu tai otettu huomioon analyysissä, niin päiväpiilotutkimuksen aikana havaittiin vähintään neljä eri lepakkolajia: pohjanlepakko (*Eptesicus nilssonii*), pikkulepakko (*Pipistrellus nathusii*), korvayökkö (*Plecotus auritus*) ja siippoja (*Myotis* sp) (Taulukko 4). Monella paikalla eri lajit jakoivat saman päiväpiilon. Tutkimuksen aikana löydettiin myös uusi, ennestään tuntematon pikkulepakoiden lisääntymisyhdyskunta (Kuva 8).

Laitteella 13 ei lopulta nauhoitettu ollenkaan ja laitteilla 9 ja 18 asetettiin paikoilleen vasta toisen jakson aikana.



Kuva 8. Pikkulepakoiden päiväpiilo.



Kuva 9. Korvayökköjen päiväpiilo (kuva: Juhana Nenonen).



Kuva 10. Pohjanlepakoiden päiväpiilo.

Taulukko 4. Päiväpiilotutkimuksessa havaitut lajit laitteittain. Havaituista lajeista käytetty lyhenteitä, Enil = pohjanlepakko (*Eptesicus nilssonii*), Myo sp. = tunnistamaton siippa (*Myotis sp.*), Pnat = pikkulepakko (*Pipistrellus nathusii*), Paur = korvayökkö (*Plecotus auritus*).

Laite	Käsittely	Havaitut lajit
1	kontrolli	Enil, Myo sp., Pnat, Paur
2	kontrolli	Myo sp., Enil, Paur, 1 Pnat
3	lehtopöllö	Paur
4	musiikki	Enil, Myo sp.
5	kontrolli	Enil
6	musiikki	Enil, Myo sp.
7	lehtopöllö	Myo sp., Enil, Pnat
8	poikanen	Myo sp.
9	kontrolli	Myo sp., Enil
10	musiikki	Myo sp., Enil
11	lehtopöllö	Myo sp., Enil
12	poikanen	Myo sp., Enil
13	musiikki	ei nauhoituksia
14	kontrolli	Enil, Myo sp.
15	lehtopöllö	Myo sp.
16	poikanen	Myo sp., Paur, Enil
17	kontrolli	Enil, Myo sp.
18	musiikki	Enil, Myo sp.
19	lehtopöllö	Enil, Myo sp.
20	poikanen	Myo sp.
21	poikanen	Myo sp., Paur, Enil
22	musiikki	Myo sp., Enil
23	lehtopöllö	Enil, Myo sp., 1 Pnat
24	poikanen	Pnat, Myo sp., Enil, Paur

3.2 Reviiritutkimuksen tulokset

3.2.1 Tilastanalyysin tulokset

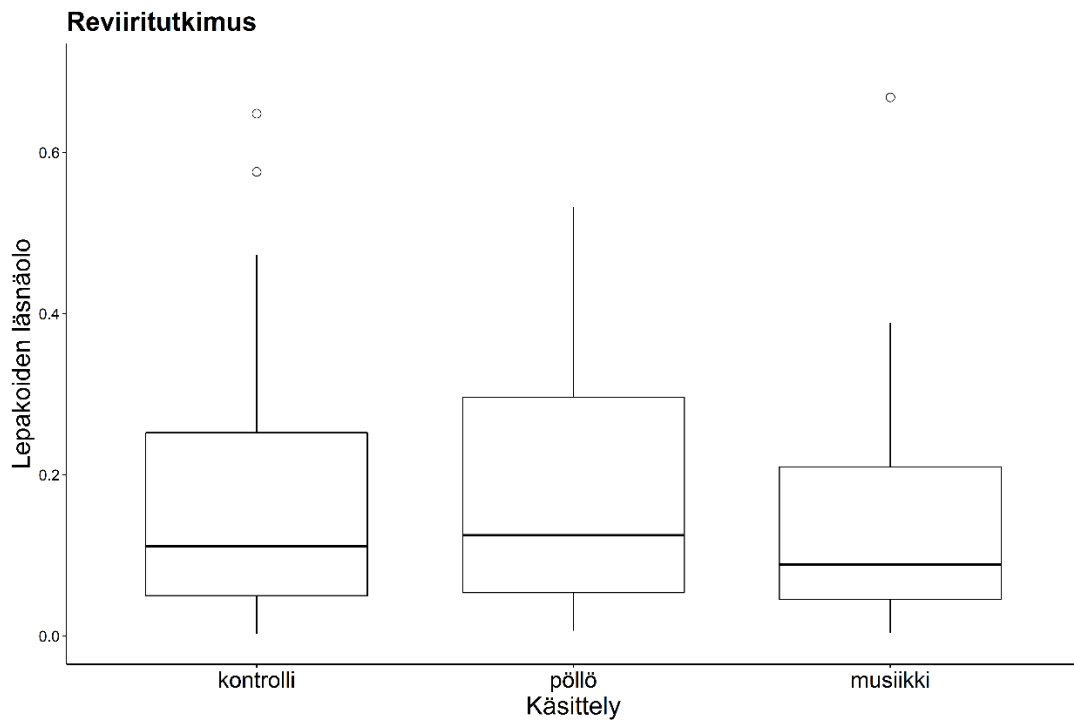
AIC:n perusteella paras malli oli malli1, jossa lehtopöllön reviiri vaikuttaa lepakoiden läsnäoloon (Taulukko 5). Hyvin lähellä sen arvoa on kuitenkin malli0, jonka mukaan reviirillä tai käsittelyllä ei ole vaikutusta lepakoihin. Mallit, joissa käsittely on mukana, ovat heikoimpia.

Taulukko 5. Vertailu reviiritutkimuksessa käytettyjen mallien AIC-arvoista.

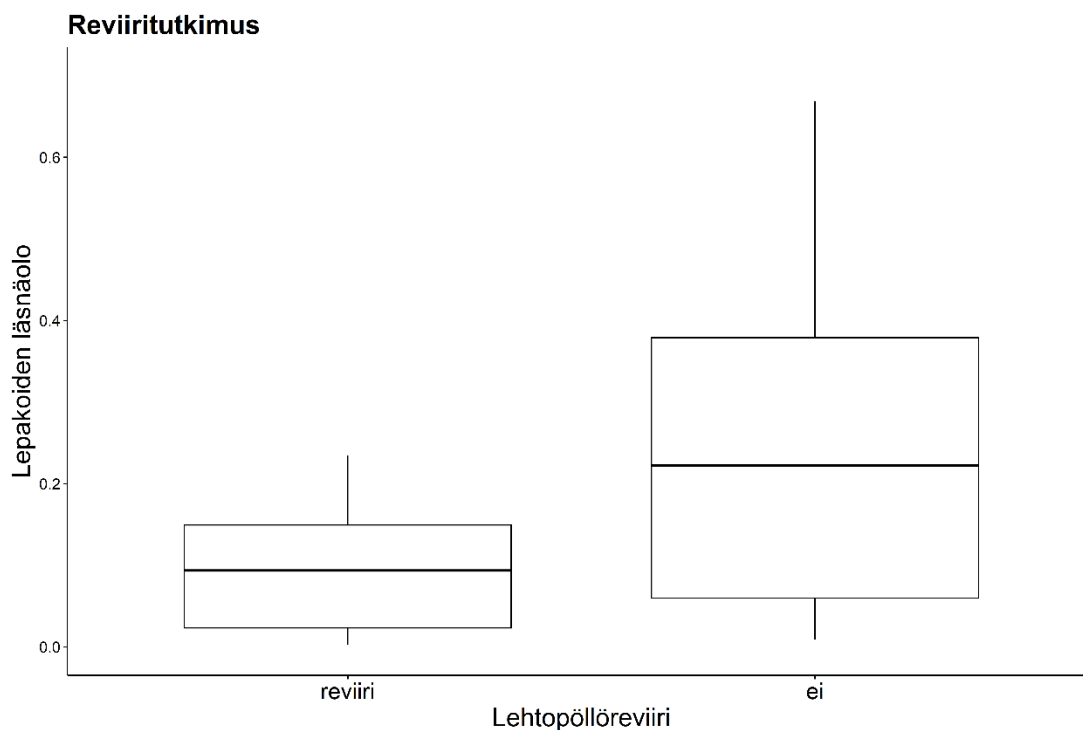
Malli	Kiinteät muuttujat	AIC-arvo	ΔAIC
malli0	ei kiinteitä muuttujia	-220.2	0.6
malli1	reviiri	-220.8	0
malli2	käsittely	-216.3	4.5
malli3	käsittely + reviiri	-216.8	4.0
malli4	käsittely*reviiri	-212.4	8.4

Koska kaksi parasta mallia, malli1 ja malli0, olivat AIC-arvojen perusteella lähellä toisiaan, tarkastelin molempien mallien kertoimien merkitsevyyttä. Mallissa 1 lehtopöllöreviiri muuttuja ei ollut merkitsevä ($b = -0.1366 \pm 0.07651$ SE, $t = -1.786$, $df = 10.969$, $p = 0.101$). Kun tilastollisen merkittävyyden rajana pidetään p -arvoa 0.05 malli1 ei ollut tilastollisesti merkittävä ja siten sekä mallit 1 ja 0 molemmat tukevat, että lehtopöllöreviirillä ei ollut merkitsevää vaikutusta lepakoiden aktiivisuuteen.

Näiden tulosten perusteella mallia 0 voidaan pitää luotettavimpana ($b = 0.1735 \pm 0.04347$ SE, $t = 3.99$, $df = 11.176$, $p = 0.002$), mikä tarkoittaa, että käsittelyillä, lehtopöllön huhuilulla tai musiikilla, ei ole vaikutusta lepakoihin (Kuva 11). Alun perin parhaaksi valittu malli1 ei ole tilastollisesti merkittävä, mutta sen mukaan lepakoiden aktiivisuudella on vähenevä suuntaus lehtopöllöreviireillä (kulmakerroin -0.13661) (Kuva 12).



Kuva 11. Käsittelyjen vaikutus lepakoiden esiintymiseen reviiritutkimuksessa. Lehtopöllön huhuilulla tai musiikilla ei ole vaikutusta lepakoiden läsnäoloon.



Kuva 12. Lepakoiden esiintyminen lehtopöllöreviireillä ja paikoilla, joilla ei ole ollut havaintoja lehtopöllöistä. Tulokset viittaavat siihen, että lepakoiden aktiivisuus vähenee lehtopöllöreviireillä, mutta tulos ei ole tilastollisesti merkittävä sen jälkeen, kun paikan ja yön vaikutus on otettu huomioon.

3.2.2 Havaitut lajit

Vaikka lajeja ei otettu analyysissä huomioon, niin reviiritutkimuksen aikana tehtiin havaintoja vähintään neljästä eri lepakkolajista: pohjanlepakosta, pikkulepakosta, korvayököstä ja siipoista (Taulukko 6).

Pohjanlepakot ja siipat olivat yleisimpiä ja niitä havaittiin kaikilla nauhoituspaikoilla. Paikassa 7 pikkulepakot olivat yleisin laji siippojen ohella, muualla niitä havaittiin vain satunnaisina öinä. Korvayököstä on vain yksi havainto paikassa 3 (kartta 1).

Nauhoitusjakson aikana kaksi laitteista meni epäkuntoon ja ne alkoivat nauhoittaa epätäydellisiä öitä: laite 4 kolme viimeistä yötä ja laite 6 kaksi viimeistä yötä.

Taulukko 6. Reviiritutkimuksessa havaitut lajit eri paikoilta. Lajeista käytetty lyhenteitä, Enil = pohjanlepakko (*Eptesicus nilssonii*), Myo sp. = tunnistamaton siippa (*Myotis* sp.), Pnat = pikkulepakko (*Pipistrellus nathusii*), Paur = korvayökkö (*Plecotus auritus*).

Laite	Paikka	Lehtopöllöreviiri	Lajit
1	Elfvik	kyllä	Enil, Pnat, Myo sp.
2	Tali	kyllä	Enil, Myo sp.
3	Metsälä	kyllä	Enil, Myo sp., Paur
4	Länsi-Herttoniemi	kyllä	Enil, Myo sp., Pnat
5	Kulosaari	kyllä	Myo sp., Enil, Pnat
6	Kuusisaari	ei	Enil, Myo sp., Pnat
7	Seurasaari	ei	Pnat, Myo sp., Enil
8	Vanhankaupunginlahti	ei	Enil, Myo sp., 1 Pnat
9	Viikki	ei	Enil, Myo sp. Pnat
10	Mustikkamaa	ei	Enil, Myo sp.
11	Rantasalmi	ei	Myo sp., Enil

4. Pohdinta

4.1 Yhteenveto tuloksista

Ensimmäisessä kokeessani lepakot poistuivat päiväpiilosta myöhemmin, kun niille simuloitiin lehtopöllön läsnäoloa. Tämän perusteella nollahypoteesi kumottiin ja tulokset tukivat lepakoiden antipredaatiiovaste-hypoteesia (H2). Toisessa kokeessani en havainnut merkitsevää lehtopöllön vaikutusta lepakoiden saalistusaktiivisuudessa. Tämän perusteella nollahypoteesi jää voimaan eli lehtopöllöjen läsnäolo, huhuilu tai soitettu musiikki eivät vaikuttaneet lepakkoaktiivisuuteen. On kuitenkin hyvä tiedostaa, että aineistossani oli ei-merkitsevä suuntaus, jonka mukaan lepakkoaktiivisuus olisi alhaisempaa lehtopöllöreviireillä, ja että suuremmalla aineistolla olisi voitu saada tilastollisesti merkittäviä tuloksia. Tulosteni perusteella antipredaatiokäyttäytyminen on kuitenkin voimakkainta päiväpiilosta poistuttaessa. On siis mahdollista, että lepakot tunnistavat korkean saalistusriskin tilanteen ja keskittävät antipredaatiiovasteet sinne. Vaihtoehtoisesti on mahdollista, että lepakot asettavat oman saalistusmenestyksensä tärkeysjärjestyksessä pedon välttämisen edelle.

En pystynyt suoraan vastaamaan alkuperäiseen kysymykseen *‘Ovatko lepakoiden antipredaatiiovasteet opittuja ja reagoivatko lepakot, jotka ovat kuulleet lehtopöllön huhuilua aiemmin eri tavalla, kuin lepakot, jotka eivät ole aiemmin kuulleet lehtopöllön huhuilua?’*, koska lepakot eivät esittäneet selkeitä antipredaatiiovasteita saalistaessaan. On mahdollista, että lepakot suosivat lähtökohtaisesti paikkoja, joissa ei ole lehtopöllöjä, mutta tämä väite ei saanut selkeätä tilastollista tukea.

4.2 Pohdinta

Lepakoiden antipredaatiiovasteiden tueksi on kerätty useita todisteita. Russo ym. (2007) totesivat lepakoiden poistuvan päiväpiilostaan aiemmin, jos päiväpiilo sijaitsi suojaissassa paikassa ja vastaavasti myöhemmin avoimessa maastossa. Tämän arveltiin johtuvan siitä, että avoimella paikalla lepakot ovat alttiimpia saalistukselle valoisan aikaan. Thomas & Jacobs (2013) selvittivät, mitkä tekijät vaikuttavat lepakoiden lähtöaikaan, ja totesivat kaikkien merkitsevien muuttujien, kuten lepakon koon ja lentonopeuden, liittyvän saalistukseen. Speakman ym. (1995) arvelivat, saalistuksen uhka vaikuttaa lepakoiden käyttäytymiseen niiden poistuessa päiväpiilosta. Näistä tuloksista huolimatta petoa simuloivia ärsykeitä käytettäessä ei ole saatu antipredaatiokäyttäytymistä tukevia tuloksia. Kalcounis & Brigham (1994) ja Petrzelková & Zukal (2001) tarkkailivat lepakoiden päiväpiilosta poistumista, eivätkä havainneet

ulostuloaukon läheisyyteen sijoitetun muovisen tai täytetyn pedon ja sen nauhoitetun ääntelyn vaikuttavan lepakoiden lähtöön. Baxter ym. (2006) ja Janos & Root (2014) simuloivat predaatiouhkaa nauhoitetulla pöllön huhuilulla ja äänittivät lepakoita niiden saalistaessa mutta eivät havainneet eroa lepakoiden käyttäytymisessä pöllön huhuilun tai kontrolloidun välillä.

Omassa tutkimuksessani havaitsin lepakoiden siirtävän lähtöään päiväpiilosta myöhäisemmäksi, kun lehtopöllön nauhoitettua huhuilua soitettiin päiväpiilon edustalla. Tutkimus osoittaa, että lepakoilla on antipredaativasteita ja ne pyrkivät välttämään petoa uhkaavassa tilanteessa. Tulos kuitenkin eroaa aiemmista vastaavista tutkimuksista (Kalcounis & Brigham 1994, Petrzeková & Zúkal 2001). Yksi mahdollinen selittävä tekijä eroon on kerätyn aineiston koko. Aiemmat tutkimukset seurasivat lepakoiden poistumista useampana yönä ja peräkkäisinä vuosina, mutta tutkimuksissa seurattiin vain yhtä yhdyskuntaa. Omassa aineistossani oli mukana 23 lepakoiden päiväpiiloa ja se on tietääkseni laajin, joka aiheesta on kerätty. Tulos on myös linjassa aiempien tutkimusten kanssa, joissa on kerätty tietoa lepakoiden lähdöstä päiväpiilosta, ja todettu antipredaatioon liittyvillä tekijöillä olevan vaikutusta (Thomas & Jacobs 2013, Arndt ym. 2018).

En kuitenkaan havainnut lehtopöllön huhuilulla tai lehtopöllöreviirillä olevan selkeää vaikutusta lepakoiden esiintymiseen niiden saalistaessa. Baxter ym. (2006) ja Janos & Root (2014) saivat vastaavista tutkimuksista saman tuloksen: pöllön huhuilulla ei ole vaikutusta saalistaviin lepakoihin. Olen kuitenkin todennut, että lepakoilla on antipredaativasteita ja ne esittävät niitä kuullessaan pöllön huhuilua, joten seuraava kysymys on, miksi antipredaativasteita esitetään vain tietyissä tilanteissa?

4.2.1 Konflikti pedon välttämisen ja energian saannin välillä

Energia tai aika, joka käytetään pedon välttämiseen, on pois muista selviytymisen kannalta välttämättömistä aktiviteeteista kuten saalistuksesta. Antipredaativasteisiin ja omaan ravinnonhankintaan käytettävä energia on pystyttävä jakamaan niin, että todennäköisyys sekä saaliiksi joutumiselle että nälkään nääntymiselle on mahdollisimman pieni. Mikäli pedon tarkkailuun käytetään liikaa aikaa, eläimet menettävät tärkeitä mahdollisuuksia saalistaa ja mikäli mahdolliseen uhkaan kiinnitetään liian vähän huomiota, todennäköisyys joutua saaliiksi kasvaa (Brown ym. 1999). Valinta suosiikin yksilöitä, jotka pystyvät optimoimaan oman saalistuksensa ja petojen saalistuksen välttämisen (Lima 1998).

Onkin varsin todennäköistä, että myös lepakot joutuvat tasapainoilemaan tämän valinnan kanssa. Lepakot ovat itsekin saalistajia, mutta ominaisuudet, jotka tehostavat niiden omaa ravinnon hankintaa eivät ole samoja, jotka auttavat niitä välttämään petoja. Esimerkiksi aikainen päiväpiilosta poistuminen tarkoittaa

pidempää aikaa saalistaa, mutta altistaa samalla lepakot suuremmalle vaaralle, sillä valon määrän on todettu olevan suoraan yhteydessä lepakoiden kokemaan saalistusuhkaan (Thomas & Jacobs 2013, Mikula ym. 2015). Tutkimuksessani lepakot lähtivätkin päiväpiilostaan myöhemmin liikkeelle, kun lehtopöllön huhuilua soitettiin päiväpiilon edustalla. Tällä tavoin ne pyrkivät todennäköisesti välttämään valoa, joka altistaa ne saalistukselle, vaikka menettivät samalla omia mahdollisuuksia saalistaa. Vastaavaa ei tapahtunut poikasen ääntelyn tai musiikin kanssa, joten lepakot tunnistavat aikuisen lehtopöllön uhaksi.

Lepakot välttävät petoa poistuessaan päiväpiilosta mutta eivät reagoi samaan ärsykkeeseen saalistaessaan. Jos oletetaan, että lepakot joutuvat tasapainoilemaan molemmissa tilanteissa pedon välttämisen ja oman saalistuksensa välillä, niin voidaan löytää syitä kahdelle erilaiselle käytösmaalleille. Esitän, että lepakot joko 1. tunnistavat korkean riskin tilanteen eli päiväpiilosta poistumisen ja keskittävät antipredaatiokäyttäytymisen sinne tai 2. priorisoivat oman saalistuksensa pedon välttämisen edelle.

4.2.1.1 Predaatiouhka vaihtelee ajassa ja tilassa

Luonnossa lepakoille riskialttain hetki joutua saaliiksi on yhdyskunnasta tai päiväpiilosta poistuminen. Mikäli paikalla on saalistaja, hyökkäyksen onnistumisprosentti voi olla jopa yli 50 % (Rodríguez-Durán & Lewis 1985, Fenton ym. 1994). Selkeimmät antipredaatiovasteet kannattaakin keskittää sinne, missä riski on korkein ajassa tai tilassa (Laundré ym. 2010). Tällaisessa tilanteessa voi olla kannattavaa välttää petoa silläkin kustannuksella, että oma saalistus kärsii. Tutkimuksessani lepakot luopuivat yli 20 minuutin ajaksi omasta saalistuksestaan viivästyttäessään lähtöään. Aika voi olla hyvinkin pitkä, koska jos päiväpiiloissa oli esimerkiksi imettäviä naaraita, niiden energian tarve on normaalia suurempi ja vaatisi normaaleissa olosuhteissa tavallista aikaisempaa lähtöä (Russo ym. 2007).

Saalistaessaan ja lentäessään vapaasti lepakot eivät ole lainkaan yhtä alttiita saalistukselle, kuin päiväpiilosta poistuessaan. Lima & O'Keefe (2013) arvelevat ettei lauhkealla vyöhykkeellä mahdollisesti ole lainkaan petoja, jotka uhkaisivat saalistavaa lepakkoa. Tätä väitettä tukemassa on leveysasteiden kasvaessa vähenevä kuunvalon välttäminen (lunar phobia) (Saldaña-Vázquez & Munguía-Rosas 2013): mikäli kirkkaasta kuutamosta hyötyviä petoja ei ole, omaa saalistusta kannattaa jatkaa valoisammista olosuhteista huolimatta. Toisaalta pohjoiseen siirryttäessä yöt lyhenevät, joten lepakot joutuvat saalistamaan tropiikkia valoisammissa olosuhteissa kuunvaiheesta riippumatta. Mikäli lauhkealta vyöhykkeeltä todella puuttuu saalistavia lepakoita metsästävä peto, niin omasta saalistuksesta ei kannata luopua lehtopöllön huhuilun takia. Toisekseen Suomen kesäyöt ovat lyhyitä, joten kaikki toiminta pitää keskittää muutamaa pimeään tuntiin. Tällaisessa tilanteessa aikaa ei välttämättä kannata tuhjata pedon välttämiseen, jos mahdollisen

hyökkäyksen onnistumisprosentti on pieni tai pedon läsnäolo ei edes tarkoita hyökkäystä. Tällöin nälkään nääntyminen on saaliiksi joutumista todennäköisempi riski, ja energia kannattaa keskittää omaan saalistukseen.

Lyhyen yön merkitys korostuu todennäköisesti päiväpiilosta poistumisen yhteydessä. Päiväpiilotutkimuksen aikaan auringonlaskun ja -nousun välillä oli vain 5-6 tuntia, johon sisältyy myös pitkä hämärän aika. Näissä olosuhteissa todettu 20 minuutin menetys saalistusajasta on jo huomattavan suuri. On myös mahdollista, että mikäli tutkimus olisi toistettu esimerkiksi elokuussa, jolloin yöt ovat pidempiä, lepakoilla olisi ollut varaa odottaa lentoonlähtöä vielä tätäkin kauemmin. Tähän kysymykseen vastaaminen vaatii kuitenkin lisätutkimuksia.

5. Yhteenveto

Tutkimukseni osoittaa, että lepakoilla on antipredaatiiovasteita. Nämä antipredaatiiovasteet eivät kuitenkaan ilmene samalla tavalla kaikissa tilanteissa. Lepakot lähtevät myöhemmin liikkeelle, kun lehtopöllön huhuilua soitetaan niiden päiväpiilon edustalla. Musiikki tai lehtopöllön poikasen ääntely eivät muuta lähtöaikaa. Siirtämällä lähtöaikaansa lepakot pyrkivät todennäköisesti välttämään valoisan tai hämärän aikaan lentämistä, joiden aikaan riski jäädä saaliiksi kasvaa moninkertaiseksi. Lepakot eivät kuitenkaan reagoi samaan ärsykkeeseen, lehtopöllön huhuiluun, saalistaessaan. Tällöin niiden aktiivisuudessa tai läsnäolossa ei ole muutoksia pöllön huhuilun tai musiikin soidessa.

Lepakoita saalistetaan eniten niiden poistuessa yhdyskunnista tai päiväpiiloista. Koska lepakoiden kokemassa saalistusriskissä on ajallista ja paikallista vaihtelua, on mahdollista, että ne keskittävät antipredaatiokäyttäytymisensä korkean riskin tilanteisiin: päiväpiilosta poistumiseen. Toisaalta pedon välttämiseen käytetty aika ja energia ovat pois ajasta, jonka voisi käyttää omaan saalistamiseen; lopullinen selviytyminen riippuu kyvystä välttää saalistusta ja nälkään kuolemista. Niinpä on myös mahdollista, että lepakot kokevat oman saalistuksensa tärkeämmäksi kuin mahdollisen pedon välttämisen. Vaikuttavana tekijänä voi olla myös Suomen lyhyt kesäyö, jonka vuoksi lepakoilla on vain lyhyt pimeyden hetki, jonka aikana saalistaa ja niiden tarvitsee keskittää kaikki aika ja energia ravinnon hankintaan.

6. Kiitokset

Haluan kiittää ohjaajiani Thomas Lilleytä ja Aleksi Lehikoista hyvistä neuvoista, tuesta ja avusta tutkimuksen kaikissa vaiheissa. Lisäksi haluan kiittää BatLab Finland -ryhmän jäseniä kannustuksesta ja neuvoista tutkimuksen aikana, erityisesti kiitos Kati Suomiselle avusta osallistujien etsinnässä ja Ville Vaskolle avusta lepakoiden tunnistamisen ja karttojen kanssa. Kiitokset myös kaikille tutkimukseen osallistuneille kansalaisille, joita ilman laajan aineiston kerääminen olisi ollut mahdotonta. Haluan kiittää myös Suomen Biologian Seura Vanamo ry:tä tutkimuksen rahoittamisesta ja siihen uskomisesta. Lopuksi vielä kiitos Ozzy Osbournelle, joka tietämättään oli tärkeä osa tutkimusta ja todisti samalla, ettei ole lepakoille uhka, menneistä lepakoihin kohdistuvista väärinkäytöksistään huolimatta.

7. Lähteet

- Arndt, R., O’Keefe, J., Mitchell, W., Holmes, J. & Lima, S. 2018: Do predators influence the behaviour of temperate-zone bats? An analysis of competing models of roost emergence times – *Animal Behaviour* 145: 161-170.
- Barton, K. 2020: MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.43.17. <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>
- Baxter, D., Psyllakis, J., Gillingham, M. & O’Brien, E. 2006: Behavioural response of bats to perceived Predation Risk While Foraging – *Ethology* 112: 977-983.
- Begon, M., Townsend, C. & Harper, J. 2006: *Ecology: from individuals to ecosystems*, 4th ed. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Britzke, E., Gillam, E. & Murray, K. 2013: Current state of understanding of ultrasonic detectors for the study of bat ecology – *Acta Theriologica* 58: 109-117.
- Brown, J., Laundré, J. & Gurung, M. 1999: The ecology of fear: optimal foraging, game theory and trophic interactions – *Journal of Mammalogy* 80: 385-399.

- Creel, S., Winnie, Jr., J., Maxwell, B., Hamlin, K. & Creel, M. 2005: Elk alter habitat selection as an antipredator response to wolves – *Ecology* 86: 3387-3397.
- Cresswell, W. 2008: Non-lethal effects of predation in birds – *Ibis* 150: 3-17.
- Driessens, T. & Siemers, B. 2010: Cave-dwelling bats do not avoid TMT and 2-PT – components of predator odour that induce fear in other small mammals – *The Journal of Experimental Biology* 213: 2453-2460.
- Duvergé, P. L., Jones, G., Rydell, J. & Ransome, R. 2000: Functional significance of emergence timing in bats – *Ecography* 23: 32-40.
- Fenton, M. & Fleming, T. 1976: Ecological Interactions between bats and nocturnal birds – *Biotropica* 8: 104-110.
- Fenton, M., Cumming, D. & Oxley, D. 1977: Prey of bat hawks and availability of bats – *The Condor* 79: 495-497.
- Fenton, M., Rautenbach, I., Smith, S., Swanepoel, C., Grosell, J. & van Jaarsveld, J. 1994: Raptors and bats: threats and opportunities – *Animal Behaviour* 48: 9-18.
- Hamilton, W. D. 1971: Geometry for the selfish herd – *Journal of Theoretical Biology* 31: 295-311.
- Hendrie, C., Weiss, S. & Eilam, D. 1998: Behavioural response of wild rodents to the calls of an owl: a comparative study – *Journal of Zoology* 245: 439-446.
- Janos, G. & Root, K. 2014: Bats do not alter their foraging activity in response to owl calls – *The American Midland Naturalist* 171: 375-378.
- Jones, G. & Rydell, J. 1994: Foraging strategy and predation risk as factors influencing emergence time in echolocating bats – *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 346: 445-455.
- Kalcounis, M. & Brigham, R. M. 1994: Impact of predation risk on emergence by Little brown bats, *Myotis lucifugus* (Chiroptera: Vespertilionidae), from a maternity colony – *Ethology* 98: 201-209.
- Kindermann, T., Siemers, B. & Fendt, M. 2009: Innate or learned acoustic recognition of avian predators in rodents? – *The Journal of Experimental Biology* 212: 506-513.
- Klump, G. & Shalter, M. 1983: Acoustic behaviour of birds and mammals in the predator context – *Zeitschrift f r Tierpsychologie* 66: 189-226.
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. & Christensen R. 2017: lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models – *Journal of Statistical Software* 82: 1-26.

- Lattenkamp, E., Nagy, M., Drexler, M., Vernes, S., Wiegand, L. & Knörnschild, M. 2021: Hearing sensitivity and amplitude coding in bats are differentially shaped by echolocation calls and social calls – *Proceedings of the Royal Society B* 288: 20202600.
- Laundré, J., Hernández, L. & Ripple, W. 2010: The Landscape of Fear: Ecological implications of being afraid – *The Open Ecology Journal* 3: 1-7.
- Lesiński, G., Gryz, J. & Kowalski, M. 2009: Bat predation by tawny owls *Strix aluco* in differently human-transformed habitats – *Italian Journal of Zoology* 76: 415-421.
- Lesiński, G., Ignaczak, M. & Manias J. 2009: Opportunistic predation on bats by the tawny owl *Strix aluco* – *Animal Biology* 59: 283-288.
- Lesiński, G., Kasprzyk, K. & Gryz, J. 2012: Bats taken by the tawny owl in relation to its roosting site – *North-Western Journal of Zoology* 8: 247-251.
- Lima, S. 1998: Nonlethal effects in the ecology of predator-prey interactions – *BioScience* 48: 25-34.
- Lima, S. & Bednekoff, P. 1999: Temporal variation in danger drives antipredator behavior: The predation risk allocation hypothesis – *The American Naturalist* 153: 649-659.
- Lima, S. & O’Keefe, J. 2013: Do predators influence the behaviour of bats? – *Biological Reviews* 88: 626-644.
- Lind, J. & Cresswell, W. 2005: Determining the fitness consequences of antipredation behaviour – *Behavioral Ecology* 16: 945-956.
- Mikula, P., Morelli, F., Lucan, R., Jones, D. & Tryjanowski, P. 2015: Bats as prey of diurnal birds: a global perspective – *Mammal Review* 46: 160-174.
- O’Farrell, M. & Gannon, W. 1999: A comparison of acoustic versus capture techniques for the inventory of bats – *Journal of Mammalogy* 80: 24-30.
- Petrzelková, K. & Zúkal, J. 2001: Emergence behaviour of the Serotine bat (*Eptesicus serotinus*) under predation risk – *Netherlands Journal of Zoology* 51: 395-414.
- R Core Team 2020: R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Rodríguez-Durán, A. & Lewis, A. 1985: Seasonal predation by merlins on sooty mustached bats in Western Puerto Rico – *Biotropica* 17: 71-74.
- Rosina, V. & Shokhrin, V. 2011: Bats in the diet of owls from the Russian far East, Southern Sikhote Alin – *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy* 22: 205-213.

- Roulin, A. & Christe, P. 2013: Geographic and temporal variation in the consumption of bats by European Barn Owls – *Bird Study* 60: 561-569.
- Russ, J., Jones, G., Mackie, I. & Racey, P. 2004: Interspecific responses to distress calls in bats (Chiroptera: Vespertilionidae): a function for convergence in call design? – *Animal Behaviour* 67: 1005-1014.
- Russo, D., Cistrone, L. & Jones, G. 2007: Emergence time in forest bats: the influence of canopy closure – *Acta Oecologica* 31: 119-126.
- Russo, D., Maglio, G., Rainho, A., Meyer, C. & Palmeirim, J. 2011: Out of the dark: Diurnal activity in the bat *Hipposideros ruber* on São Tomé island (West Africa) – *Mammalian Biology* 76: 701-708.
- Saldaña-Vázquez, R. & Munguía-Rosas, M. 2013: Lunar phobia in bats and its ecological correlates: A meta-analysis – *Mammalian Biology* 78: 216-219.
- Speakman, J. 1991: The impact of predation by birds on bat populations in the British Isles – *Mammal Review* 21: 123-142.
- Speakman, J., Stone, R. & Kerslake, J. 1995: Temporal patterns in the emergence behaviour of pipistrelle bats, *Pipistrellus pipistrellus*, from maternity colonies are consistent with an anti-predator response – *Animal Behaviour* 50: 1147-1156.
- Thomas, A. & Jacobs, D. 2013: Factors influencing the emergence times of sympatric insectivorous bat species - *Acta Chiropterologica* 15: 121-132.
- Vargas, J., Landaeta, C. & Simonetti, J. 2002: Bats as prey of barn owls (*Tyto alba*) in a tropical savanna in Bolivia – *Journal of Raptor Research* 36: 146-148.

Liite 1. Tutkimukseen osallistuneille kansalaisille lähetetty ohje aineiston keräämisestä.

Pedonvälttämistutkimus – ohje aineiston keräämiseen

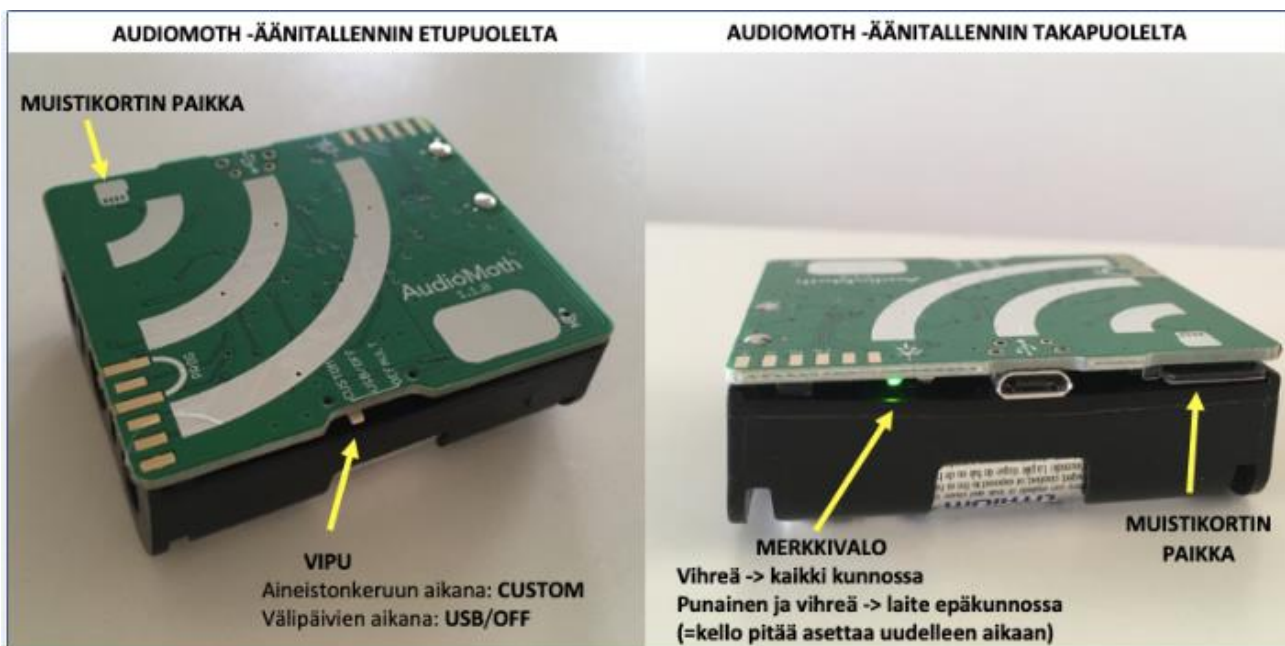
Miina Suutari, miina.suutari@helsinki.fi, p. 050 xxx xxxx

Saat postissa paketin, joka sisältää AudioMoth-ultraäänitallentimen, siihen sopivan piuhan, T-508 radion, siihen sopivan latausjohdon, uudelleen käytettäviä nippusiteitä, minigrip-pusseja ja valmiiksi printatun palautusosoitteen. Jos paketistasi puuttuu radio, kuulut kontrolliryhmään, jossa äänitetään lepakoita ilman häiriöitä. Mikäli olet ilmoittanut puhelinnumerosi, niin saat tekstiviestillä ilmoituksen paketin saapumisesta postiin. Muussa tapauksessa saat ilmoituksen paketin saapumisesta kirjeellä, mutta tarkkaile myös sähköpostiasi (myös roskapostia). Tutkimuksen loputtua AudioMoth-nauhuri, radio, piuhat sekä käyttämättömät välineet lähetetään takaisin.

Voin tutkimuksen aikana laittaa teille viestiä puhelimitse ja sähköpostilla.

AudioMoth-laite

Lepakoista kerätään ääniaineistoa AudioMoth-ultraäänitallentimella. Laitteet on numeroitu ja niihin on asennettu valmiiksi muistikortti, jolle aineisto kerätään. Muistikorttia ei irroteta missään vaiheessa.



kuva: Piia Lundberg, Lukiolaiset lepakotutkijoina, https://blogs.helsinki.fi/batscience/lukiolaiset_lepakotutkijoina/

Laite asetetaan nauhoittamaan kääntämällä vipu **CUSTOM**-asentoon. **Laitteen ollessa päällä siinä palaa vihreä merkkivalo. Kun laite nauhoittaa merkkivalo vilkkuu punaisena** – vilkkuminen voi olla niin nopeaa, että valo näyttää palavan tasaisesti. Laitteet on ohjelmoitu nauhoittamaan klo 21.15-23.45.

Kun laite ei ole käytössä, käännä vipu **USB/OFF**-asentoon.

Huom! Varo irrottamasta pattereita vahingossa. Pattereiden irtoaminen purkaa laitteen ohjelmoinnin.

Ongelmatilanteita: punainen valo jää vilkkumaan, kun laite asetetaan USB/OFF-tilaan – laita laite takaisin CUSTOM-tilaan ja sitten takaisin USB/OFF-tilaan.

Jos vihreä ja punainen valo vilkkuvat samaan aikaan, laite on kadottanut aikansa. Lisää ohjeita alempana.

Jos mikään valo ei syty, kun laitteen asettaa CUSTOM-tilaan. Lisää ohjeita alempana.

T-508 Radio



Radioon on asetettu valmiiksi muistikortti, joka soittaa tutkimuksessa käytettävää ääntä. Kun muistikortti on paikoillaan, radio soittaa sitä automaattisesti. Kussakin radiossa on äänitiedosto, jota soitetaan 20 sekunnin välein. Äänenvoimakkuuden ei tarvitse olla häiritsevällä tasolla, mutta sen on hyvä kuulua selkeästi noin 5 metrin säteellä radiosta. Antennia ei tarvitse avata.

Radio kannattaa laittaa vähintään joka toinen päivä lataukseen (akun kesto on noin 6 tuntia). Radion mukana tulee piuha tätä varten – sen saa yhdistettyä esimerkiksi puhelimen laturin töpseliosaan.

Laitteiden vieminen maastoon

Milloin - Tutkimusjaksot ovat kesäkuun toinen viikko **8.6.-13.6.** ja heinäkuun toinen viikko **6.7.-12.7.** Ma 8.6., ti 9.6., ma 6.7. ja ti 7.7. maastoon viedään pelkästään AudioMoth-laite, muina päivinä sekä AudioMoth että radio. Rankan sateen aikaan nauhoitusta ei tarvitse tehdä – lepakotkaan eivät lähde liikkeelle.

Monelta – Vie AudioMoth laite ja radio paikoilleen viimeistään **klo 20.45** ja laita ne päälle (AudioMoth CUSTOM-tilaan). Radion saa laittaa päälle aikaisintaan 20.35, AudioMothin voi käynnistää aikaisemminkin.

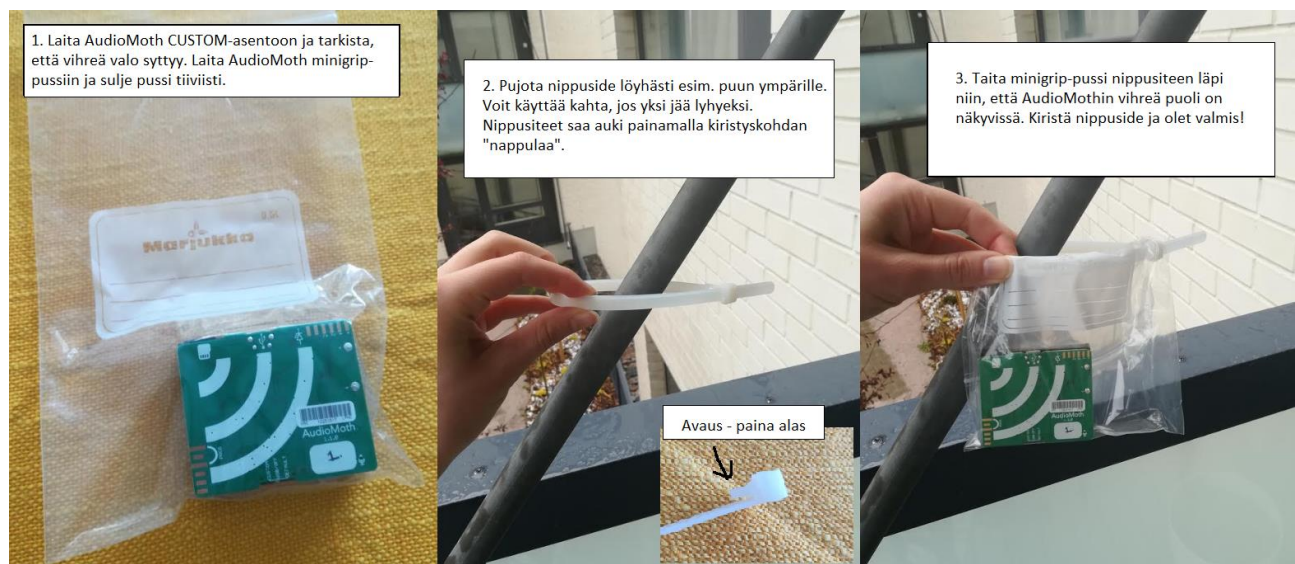
AudioMoth nauhoittaa klo 21.15-23.45. Laitteet pidetään paikoillaan koko nauhoituksen ajan. Mikäli tarkkailet lepakoita ja tiedät, kuinka monta niitä on päiväpiilossa, laitteet voi kerätä pois noin 10 minuutta sen jälkeen, kun viimeinen yksilö on lähtenyt. Laitteet kerätään pois viimeistään aamulla ja radio kannattaa laittaa päivällä lataukseen.

Mihin - AudioMoth asetetaan päiväpiilon poistumisaukon läheisyyteen, kuitenkin niin, että se on vähintään 3-5 metrin päässä aukosta. Radio asetetaan noin 3-5 metrin päähän AudioMoth-laitteesta, niin että kaiutin osoittaa AudioMothista pois päin. Laitteet asetetaan joka ilta samaan paikkaan.

Huom! Kun ensimmäinen nauhoitusjakso päättyy 13.6. on tärkeää, että AudioMoth-laite asetetaan **USB/OFF-tilaan**.

Miten

Käännä AudioMothin vipu **CUSTOM**-asentoon ja tarkista, että vihreä valo syttyy.



Radio suojataan ja kiinnitetään samalla tavalla kuin AudioMoth. Antennia ei tarvitse avata.

Maastossa laitteet kannattaa pyrkiä piilottamaan ohikulkijoiden varalta, omalla pihalla laitteet voivat olla myös esillä ja radion voi asettaa myös esimerkiksi sopivaan paikkaan asetetulle tuolille (tästä huolimatta suojaus minigrip-pussilla).

Laitteiden palauttaminen

Toisen tutkimusjakson jälkeen AudioMoth-laite, radio sekä mahdolliset ylimääräiset tarvikkeet palautetaan Luonnontieteelliselle museolle. Tarkista, että molempien laitteiden muistikortit ja AudioMothin paristot ovat tukevasti paikoillaan ja molemmat piuhat tulevat mukaan. Voit käyttää palautukseen samaa pakkausta, missä lähetys saapui – lisää tarvittaessa pehmusteita, esim. sanomalehteä. Palautus ei maksa sinulle mitään, kun käytät seuraavaa osoitetta:

Asiakaspalautus

Sopimus 127167

Laskutustunnus 606422

Luonnontieteellinen keskusmuseo

PL 17 (Pohjoinen Rautatiekatu 13)

00014 Helsingin yliopisto

Huom! Pyri viemään laitteet postiin mahdollisimman pikaisesti, sillä pedonvälttämistutkimus ei pääty tähän! Käytän samoja laitteita heinä- ja elokuun taitteessa lehtopöllöreviireillä sijaitsevilla lepakoiden ruokailupaikoilla.

AudioMoth-laite epäkunnossa – mikään valo ei pala

Irrota laitteen patterit ja laita ne takaisin paikoilleen, kun laite on USB/OFF-tilassa. Aseta laite CUSTOM-tilaan – vihreä ja punainen valo syttyvät yhtä aikaa. Seuraa alta löytyviä ohjeita.

AudioMoth-laite epäkunnossa – vihreä ja punainen valo palavat yhtä aikaa

Laite on kadottanut aikansa ja se pitää ohjelmoida uudelleen. Tämä on kuitenkin helposti tehtävissä! Mene sivulle <https://www.openacousticdevices.info/applications> ja lataa sieltä koneellesi AudioMoth Configuration App. Valitse koneellesi sopiva versio. Jos joudut ohjelmoimaan laitteen uudestaan laita viesti Miinalle miina.suutari@helsinki.fi tai tekstiviestillä 050 xxx xxxx.

AudioMoth Configuration App

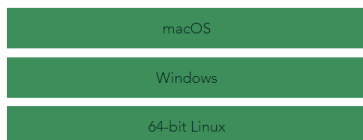
The AudioMoth Configuration App is an easy to use tool for customising your AudioMoth devices.

Using it you can schedule recording periods, customise recording gain and sample rates as well as calculate approximate device lifespans given a configuration.

For usage instructions, click [here](#).

Download:

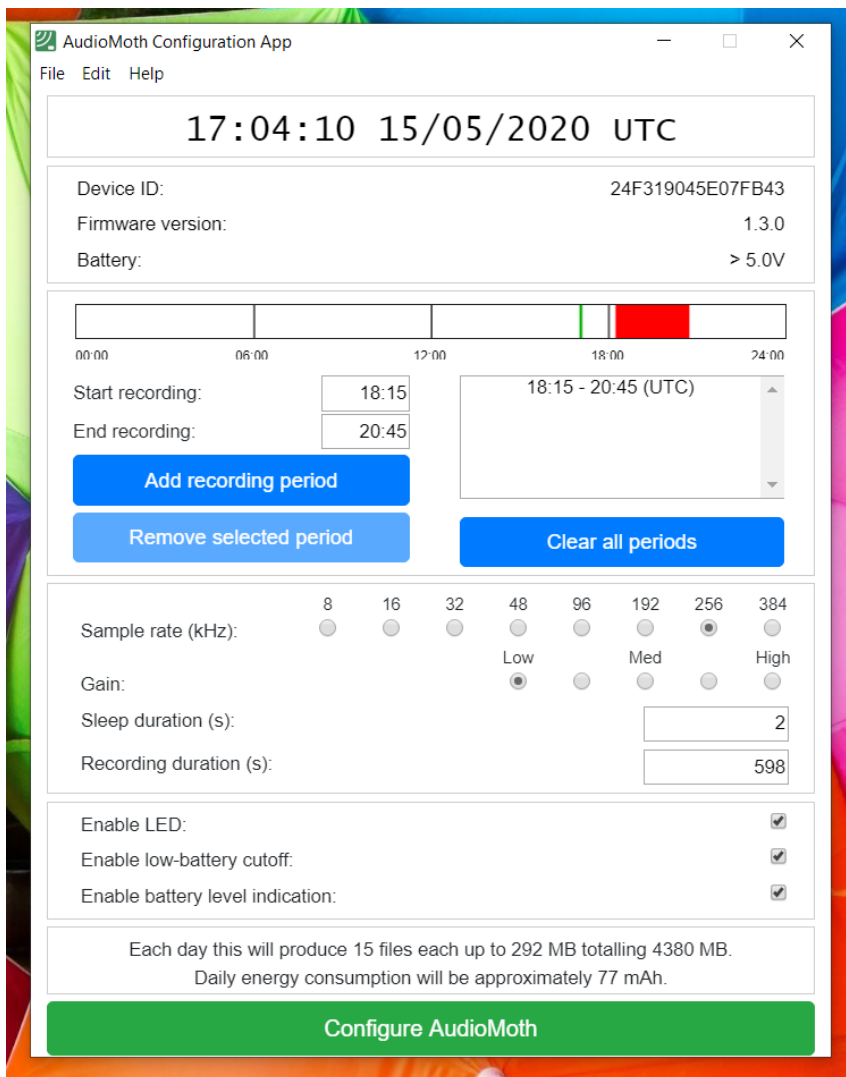
Current version: **1.2.5**



[Additional Linux installation steps](#)

A screenshot of the AudioMoth Configuration App interface. At the top, it shows the time '13:54:28' and date '26/09/2018 UTC'. Below this, it displays device information: ID '2453AC045A34A93E', Firmware version '1.2.0', and Battery level '< 3.6V'. A timeline from 00:00 to 24:00 shows a red recording period from 07:00 to 16:30. There are buttons for 'Add recording period', 'Remove selected period', and 'Clear all periods'. Below the timeline, there are settings for Sample rate (kHz) with radio buttons for 8, 16, 32, 48, 96, 192, 256, and 384; Gain with radio buttons for Low, Med, and High; Sleep duration (s) set to 5; Recording duration (s) set to 10; and an 'Enable LED' checkbox which is checked. At the bottom, a green button says 'Configure AudioMoth'. A small text box at the bottom states: 'Each day this will produce 2280 files, up to 538 KB in size, totalling 2087 MB. Daily energy consumption will be approximately 67 mAh.'

Laita AudioMoth USB/OFF-asentoon. Käytä paketissa tullutta piuhaa AudioMothin yhdistämiseen koneelle ja avaa Configuration App. Aseta sovellukselle seuraavat asetukset:



AudioMoth Configuration App

File Edit Help

17:04:10 15/05/2020 UTC

Device ID: 24F319045E07FB43

Firmware version: 1.3.0

Battery: > 5.0V

00:00 06:00 12:00 18:00 24:00

Start recording: 18:15

End recording: 20:45

18:15 - 20:45 (UTC)

Add recording period

Remove selected period

Clear all periods

Sample rate (kHz): 8 16 32 48 96 192 256 384

Gain: Low Med High

Sleep duration (s): 2

Recording duration (s): 598

Enable LED: ☒

Enable low-battery cutoff: ☒

Enable battery level indication: ☒

Each day this will produce 15 files each up to 292 MB totalling 4380 MB.
Daily energy consumption will be approximately 77 mAh.

Configure AudioMoth

Kun olet kirjoittanut nauhoituksen alku- ja loppuajan (*Start recording*, *End recording*) paina sinistä *Add recording period* -painiketta. Aika ilmestyy oikealla puolella olevaan laatikkoon ja kuvassa oleva punainen viiva tulee näkyviin. Jos lisäät vahingossa väärän ajan, voit painaa sinistä *Clear all periods* -painiketta.

Muista painaa lopuksi vihreää *Configure AudioMoth*-painiketta! Tämän jälkeen sovelluksen yläreunan aika muuttuu. Se on UTC ajassa, 3 tuntia Suomea jäljessä (siksi nauhoitusajanjaksoksi asetetaan 18.15-20.45 – laite nauhoittaa Suomen ajassa 21.15-23.45) mutta päivämäärän ja vuosiluvun pitäisi olla oikein. Tarkista, että laite sanoo tuottavansa 15 tiedostoa päivässä, jotka ovat kooltaan 292 MB. Tieto löytyy tekstistä vihreän *Configure AudioMoth* -painikkeen yläpuolelta.

Jos aineiston keräämisestä tai laitteiden käytöstä herää kysymyksiä tai jokin kohta on jäänyt epäselväksi, niin ota yhteyttä. Ole yhteydessä myös, jos oletkin jonakin päivänä estynyt tekemään nauhoitusta. Saat tietoa tutkimuksen tuloksista syksymmällä, kun pääsen analysoimaan aineistoa!

Hauskaa tutkimusta!